نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۴، شماره ۷۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحات ۳۸۸-۳۶۷

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۶/۰۸

واکاوی و آشکارسازی ساختار روزانه بارش در ایستگاه همدید شیراز با رویکرد فراکتالی

مهدی نارنگی فرد[۱]
مهران فاطمی[۲]
عبدالعلی کمانه[۳]
محمد صادق طالبی[٤]

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی ساختار مقاطع مختلف زمانی بارش در ایستگاه همدید شیراز برای شناخت تغییرات و تعیین موقعیت فضایی ساختار بارش در بازه پایداری و ناپایداری، بوده است. در این راستا ساختار حاکم بر فراسنج آب و هوایی بارش در بازه زمانی ۵۸ ساله (۱۹۵۶-۲۰۱۳) در مقاطع سه گانه زمانی مختلف (سه دوره ۲۰ ساله) بارش روزانه با رویکرد فراکتالی مورد واکاوی و بررسی جداگانه قرار گرفت. برای انجام این پژوهش پس از هم مرجع سازی ریاضی فراسنج بارش با اعمال ساختار مثلثاتی فراکتالی بر روی داده‌های بدست آمده به مقایسه نتایج حاصله با هندسه کلاسیک فراکتالی پرداخته شد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، در مقطع زمانی نخست از ۱ ژانویه سال ۱۹۵۶ تا ۷۰۶۵ روز پس از آن با اعمال ساختارهای جبری فراکتالی، نشان داد که این مقطع

۱- دکتری آب و هواشناسی دانشگاه یزد (نویسنده مسئول)
Email: mahdi.narangifard@gmail.com-Tel: 09177097454
۲- استادیار گروه جغرافیا دانشگاه میبد
۳- استادیار گروه جغرافیا طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز
٤-استادیار گروه جغرافیا دانشگاه میبد

زمانی از منطق فراکتالی پیروی نمی‌نماید. همچنین در مقطع زمانی دوم نیز همانند بازه نخست ساختار بارش از منطق فراکتالی پیروی نمی‌کند. به بیان دیگر منطق حاکم بر ساختار فراسنج بارش در مقاطع زمانی نخست و دوم از حالت تعادل به ناتعادلی است. اما برخلاف دو بازه زمانی گذشته، در بازه زمانی سوم، از منطق فراکتالی پیروی می‌نماید، که این یافته بیانگر گذار دینامیک این مقطع زمانی از حالت ناتعادلی به عدم تعادل می‌باشد؛ بنابراین با توجه به سه بازه زمانی دینامیک تعادلی ساختار بارش روزانه از آشوب به سمت فراکتال میل می‌کند.

واژگان کلیدی: شیراز، آشوب، فراکتال، تعادل، بارش

مقدمه

شناخت چگونگی روند تغییرات اقلیمی به ویژه روند تغییرات بارش، از جمله مواردی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققین علوم جوی و هیدرولوژی قرار گرفته است. بدون توجه به این که یک مکان در اقلیم مرطوب یا خشک قراردارد، آگاهی از روند تغییرات بارش یک مکان، می‌تواند بسیاری از مدیران مرتبط با آب را نسبت به تصمیم-گیری‌های آینده خود در ارتباط با اجرای پروژه‌های عمرانی یاری دهد. (خوشروی، ۱۳۹۶: ۲۲۳). بارش حیاتی‌ترین عنصر اقلیمی است که تقریباً تمامی ابعاد حیات کره زمین را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (عزیزی، ۱۳۷۹: ۱۱۵). بارندگی یکی از پیچیده-ترین و اتفاقی‌ترین پدیده‌های طبیعی می‌باشد. در واقع، تأثیر عوامل محسوس و غیر محسوس به قدری در ایجاد حادثه دخیل است که این روند را از صورت نظامی قانونمند به صورت ساختاری پیچیده سوق داده است (امیدوار و نبوی زاده، ۱۳۹۳: ۱۹۸). تاثیر بارش بر شرایط محیطی و اقتصادی- اجتماعی و همچنین، نقش آن در برنامه‌ریزی خرد و کلان، و اهمیت آن جهت اجرای طرح‌های عمرانی و برنامه‌ریزی‌های صحیح و قابل قبول، باعث توجه پژوهشگران در سال‌های اخیر به این عنصر آب و هوایی بوده و پژوهش‌های گسترده-ای بر روی این فراسنج اقلیمی انجام شده است (عساکره و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۵). پژوهش-های انجام گرفته بسیاری در ایران نشان می‌دهد که در میان فراسنج‌های آب و هوایی، فراسنج بارش از بیشترین بی‌نظمی و تغییرپذیری شدید و چشمگیر زمانی برخوردار است

(محمدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۸) و پس از دما و رطوبت جوی، بارش سومین عامل تفاوت-های آب و هوایی در ایران است (مسعودیان، ۱۳۸۸: ۸۲). در این راستا، با توجه به ناهنجاری‌های زیاد، نوسان‌ها و تغییرات بارشی به خاطر تأثیر پذیری این متغیر از عوامل و عناصر مختلف، باعث می‌شود که مدل‌های سری زمانی و خطی توانایی پیش‌بینی و پاسخگویی قطعی در زمینه رفتار پیچیده بارش را نداشته باشند. بنابراین جهت شناخت رفتار بارش باید مشخص شود، رفتار بارش در قالب‌های زمانی متفاوت (ماهانه و سالانه) از چه ساختار (آشوبناک، فراکتالی یا فازی) و حالت تعادلی پیروی می‌نماید (کمانه و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۲). پیش‌بینی و پیش‌یابی‌های فراسنج‌های آب و هوایی به عنوان مهم‌ترین جنبه کاربردی و ابزاری در علوم مرتبط با جغرافیا مطرح است، ولی با تاکید بر این نکته که پژوهشگر مجاز نمی‌باشد با استناد به روش‌های محض احتمالات آماری به پیش‌بینی اقدام نماید، چون در این صورت نتایج بدست آمده روایی منطقی نخواهد داشت و تنها یک کمیت عددی است. در این راستا محقق پس از تعیین روند تغییرات و نوسانات فراسنج یا فراسنج-های آب و هوایی معین خواهد نمود که این فراسنج‌های آب و هوایی از چه ساختاری تبعیت می‌نمایند، بدیهی است که در ساختار آشوبی به راحتی می‌توان از روش‌های محض احتمالات خطی یا غیرخطی استفاده نمود، ولی اگر برخی از فراسنج‌ها از ساختارهای برخالی و فازی تبعیت نمایند ولو اینکه یک یا چند عنصر آشوبی هم، وجود داشته باشد؛ آنگاه پژوهشگر در تحلیل ساختارهای برخالی و فازی گسسته باید از ماتریس‌های ترکیبی، احتمالات وقوع را محاسبه نماید و سپس در یک مهندسی معکوس به محاسبه حاشیه اطمینان بروز یا عدم بروز عنصر اقلیمی در یک نظام سلسله مراتبی اقدام نماید و در صورتی که با ساختارهای پیوسته فازی، برخالی و آشوبی روبرو باشیم در این حال باید از انتگرال-های دو، سه یا چندگانه جهت محاسبه احتمال بروز و وقوع نوسان یا تغییر فراسنج یا فراسنج‌های آب و هوایی بهره جست. بنابراین مهم‌ترین کاربرد پژوهش حاضر تعیین روند حاکم بر تحلیل فراسنج‌های آب و هوایی با توجه به ساختار آن‌ها (آشوبی، برخالی و فازی) می‌باشد

مبانی نظری تحقیق

در چند دهه اخیر، تحولی عظیم در شیوه درک و بیان پدیده‌های طبیعی توسط محققین صورت گرفته، که در سالیان گذشته، تبیین‌های خود را در قالب‌های منظم و مشخص ارائه می‌دادند. نظریه آشوب به مطالعه سیستم‌هایی می‌پردازد که در نگاه اول به نظر می‌رسد رفتار تصادفی داشته باشند اما در واقع همین سیستم تحت حاکمیت قوانین است. مفهوم اصلی تئوری آشوب این است که در هر بی‌نظمی، نظمی نهفته است. بدین معنا که نباید نظم را در یک مقیاس جستجو کرد. پدیده‌هایی که در مقیاس محلی کاملا تصادفی و غیرقابل پیش بینی است چه بسا در مقیاس بزرگتر کاملا پایا و قابل پیش‌بینی است. (اعلمی و ملکانی، ۱۳۹۲: ۷۰). عملکرد بیشتر پدیده‌های طبیعی در یک مقیاس زمانی کوتاه مدت کاملا تصادفی و بی‌نظم به نظر می‌رسد. لیکن با تغییر مقیاس و استفاده از مدل‌های پیشرفته، نوعی دوره تناوب و نظم در آنها مشهود است (Kocak et al, 2000). امروزه، اعتقاد بر این است که تحلیل فرایندهای هیدرولوژیک، که ماهیت دینامیک (پویا) و غیرخطی دارند، برای استفاده از مدل‌های آشوبی قطعی غیرخطی نسبت به مدل‌های احتمالاتی، بهتر صورت می‌گیرد. نظریه آشوب به شاخه‌ای از ریاضیات و فیزیک گفته می‌شود که مرتبط با سیستم‌هایی است که دینامیک آنها در برابر تغییر مقادیر اولیه، رفتار بسیار حساسیت نشان می‌دهد. به این سیستم‌ها، سیستم‌های آشوبناک گفته می‌شود که از نوع غیرخطی دینامیک هستند (Sivakumar, 2000). این نظریه برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ به وسیله ادوارد لورنز[1] در هواشناسی به کار برده شد و سپس در حیطه تمام علوم و مباحث تجربی، ریاضی، رفتاری، مدیریتی و اجتماعی وارد شد (Kocak et al, 2000) .

جایاواردنا[2] و لای[3] (۱۹۹۴) آشوبناکی رفتار بارش و دبی روزانه را به ترتیب در سه و دو ایستگاه هیدرومتری در هنگ‌کنگ بررسی کردند. در این پژوهش روش‌های بُعد همبستگی، نمای لیاپانوف، آنتروپی کولموگروف و روش پیش‌بینی غیرخطی (ARMA) را به کار

[1] Edward Lorenz
[2] - Jayawardena
[3] - Lai

گرفتند. نتایج، وجود آشوب در داده‌های بارش و دبی در هنگ کنگ نشان داد. سیواکومار[۱] و جایاواردنا (۲۰۰۲) در پژوهشی رفتار دینامیکی رسوبات معلق و بستر در حوضه رودخانه می-سی‌سی‌پی آمریکا را مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که بار رسوبی رودخانه دارای ویژگی‌های آشوبی است. دامل[۲] و یالکین[۳] (۲۰۰۷) به پیش‌بینی حجم سیلاب‌ها با استفاده از نظریه آشوب پرداختند و نشان دادند که مقادیر پیش‌بینی شده با نظریه آشوب نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده با مدل سری‌های زمانی، از دقت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. وو[۴] و همکاران (۲۰۰۹) با بکارگیری مدل آشوب و فراکتال با شبیه‌سازی و پیش‌بینی سری زمانی، کیفیت آب را مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که دقت پیش‌بینی روش آشوب نسبت به دیگر روش‌ها بالاتر و نتایج رضایت بخش می‌باشد. دهانیار[۵] و کومار[۶] (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای، رفتار آشوبناکی بارش روزانه را با بکارگیری مجموعه‌های غیرخطی مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از داده‌های بارش سه منطقهٔ مختلف در کشور هند طی سال‌های (۲۰۰۰ – ۱۹۵۵) به منظور بررسی آشوبناکی از روش بازسازی فضای فاز و بُعد همبستگی و نمای لیاپانوف استفاده نمودند. نتایج بیانگر آشوب کم بُعد در سری زمانی بارش در هر سه منطقه مورد مطالعه می‌باشد. خطیبی[۷] و همکاران (۲۰۱۲) وجود رفتار آشوبناک رودخانه سوقوتهان[۸] در ترکیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش بیانگر آشوب کم بُعد در سری سری زمانی داده‌های مورد مطالعه است. جودیپرکاش[۹] و فادیما[۱۰] (۲۰۱۳) در پژوهشی، رفتار رفتار آشوبناک میانگین بارش روزانه در بازه زمانی ۴۹ ساله (۱۹۶۱–۲۰۰۹) حوضه آبریز کوینا[۱۱] در ماهاراشترا[۱]، هند را مورد مطالعه قرار دادند، نتایج نشان داد بارش در سه قالب

---

1 - Sivakumar
2 - Damle
3 - Yalcin
4 - Wu
5 - Dhanya
6 - Kumar
7 - Khatibi
8 - Sogutluhan
9 - Jothiprakash
10 - Fathima
11 - Koyna

روزانه، هفتگی و ده روزه از رفتار آشوبناک برخوردار است. ذونعمت کرمانی[۲] و کیشی[۳] (۲۰۱۵) در پژوهشی، ویژگی‌های امواج دریایی را در دریاچه مازندران با بکارگیری نظریه آشوب مورد بررسی قرار دادند، نتایج پژوهش رفتار آشوبی امواج باد را نشان می‌داد.

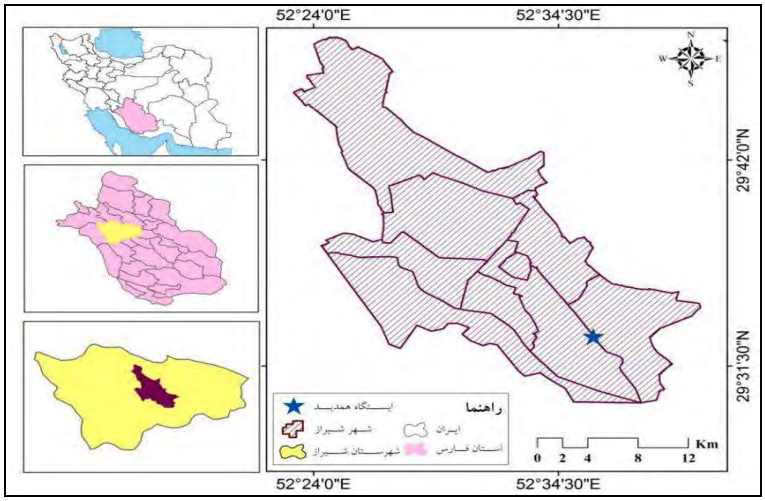
در زمینه پژوهش‌های انجام شده با استناد به نظریه و منطق آشوبی در ایران، می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد: فرزین و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی سری زمانی بارش ماهانه دریاچه ارومیه در طول دوره آماری چهل ساله اخیر با استفاده از مفاهیم نظریه آشوب مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از رفتار آشوبناک سری زمانی مورد مطالعه می‌باشد. اعلمی و ملکانی (۱۳۹۱) در پژوهشی، به بازسازی فضای حالت و بعد فراکتالی جریان رودخانه نهندچای در استان آذربایجان شرقی با استفاده از زمان تاخیر و بعد محاط پرداختند، پیش-بینی‌های نسبتاً دقیق به دست آمده برای سری جریان رودخانه نشان می‌دهد روش دینامیک آشوبی برای شناسایی و پیش‌بینی جریان در حوضه رودخانه ننهندچای مناسب است. نوری قیداری (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای، به برآورد رگبار طرح با استفاده از نظریه مالتی‌فرکتال در ایستگاه سد گتوند پرداخت؛ نتایج نشان داد که مدل مونوفرکتال[۴] برآورد کمتری از رگبار طرح ارائه می‌دهد، اما رگبار طرح بدست آمده از مدل مالتی‌فرکتال سازگاری بهتری با داده-های بارش مشاهده‌ای دارد. انیس حسینی و ذاکرمشفق (۱۳۹۲) در پژوهشی به کاربرد نظریه آشوب در تحلیل فرآیند بارش- رواناب حوضه رودخانه کشکان پرداختند، نتایج بیانگر وجود آشوب در سری زمانی دبی رودخانه می‌باشد. که با توجه به این یافته‌ها، شرایط برای پیش‌بینی رفتار فرآیند بارش- رواناب در این حوضه با بکارگیری نظریه آشوب، مناسب تلقی می‌گردد. جانی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی بارش ماهانه بندر انزلی در شرایط تاریخی و شرایط تغییر اقلیم با استفاده از نظریه آشوب مورد بررسی قرار دادند. بدین جهت دوره آماری ۱۹۹۳-۲۰۱۰ به‌عنوان دوره تاریخی و نتایج مدل LARS-WG تحت سه سناریوی (A1B)، (B1) و (A2) در دوره زمانی (۲۰۳۵-۲۰۲۰) به‌عنوان دوره‌های آینده مدنظر قرار

[1] - Maharashtra
[2] - Zounemat-Kermani
[3] - Kisi
[4] - Mono fractal

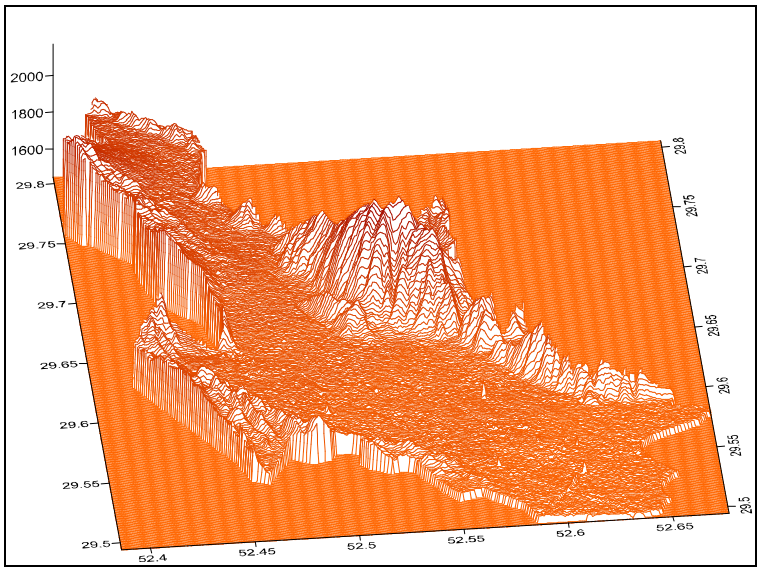
گرفت. نتایج بیانگر افزایش سیلاب و خشکسالی همراه با ۱۴ درصد کاهش بارش در دوره آینده است و داده‌های تولیدی و تاریخی دارای رفتار آشوبناک قطعی بوده و سناریوی A2 با بعد فراکتالی ۴/۱۳ بیشترین پیچیدگی را در مقایسه با دیگر سری داده‌ها دارد. کمانه و همکاران (۱۳۹۴) و دهقان و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی، به بررسی بازخوردهای آب و هوایی و ژئوموفولوژیک جهت توسعه فیزیکی شهر شیراز با استفاده از ضوابط فراکتالی و آشوبی پرداختند. قهرودی تالی و درفشی (۱۳۹۴) آشفتگی در الگوی خطر سیلاب در شهر تهران را مورد بررسی قرار دادند، برای بررسی آشفتگی در الگوی سیلاب در تهران از دو مدل فرکتالی محیط ـمساحت و تعداد ـ مساحت در ۱۲ حوضه‌ی نمونه و در رده‌های آسیب‌پذیری استفاده کردند، نتایج نشان داد افزایش آشفتگی هم‌زمان با بزرگ شدن مخاطره‌ی سیلاب بیانگر این است که امکان پیش‌بینی نحوه‌ی گسترش سیلاب و تعیین مناطق در معرض خطر فراهم نیست. مزیدی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی ساختار تعادلی مسلط بر آینده فراسنج دما در حوضه آبخیز دریاچه‌های طشک، بختگان و مهارلو مبتنی بر برونداد داده‌های مدل EH5OM پرداختند؛ یافته‌های پژوهش نشان داد روند روزانه میانگین دما در منطقه مورد مطالعه از ساختاری فراکتالی پیروی می‌نماید، که بیانگر گذار دینامیک این فراسنج در دهه‌های آینده از حالت ناتعادلی به عدم تعادل است. سپهر و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی، رفتار و روابط بین ابعاد فراکتالی و ارتباط آن با خصوصیات هیدرومورفومتری حوضه‌های آبریز دامنه‌ی شمالی بینالود مورد مطالعه قرار دادند؛ نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر روابط معناداری بین ابعاد فراکتال حوضه‌ها، شبکه‌های زهکشی، فرم‌ها، الگوهای نهایی و ویژگی‌های مورفومتری آن‌ها می‌باشد. بررسی رابطه‌ی بین بعد فراکتال نسبت انشعاب با مساحت حوضه‌های مورد مطالعه، یک رابطه‌ی معکوس و منفی را نشان می‌دهد. این پژوهش با هدف تعیین و شناخت موقعیت فضایی ساختار حاکم بر تغییرات بارش روزانه ایستگاه همدید شیراز در بازه پایداری و ناپایداری در سه مقطع زمانی مختلف (سه دوره ۲۰ ساله) بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

شهر شیراز مرکز استان فارس در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ۲۹ درجه و ۲۹ دقیقه جنوبی و طول ۵۲ درجه و ۴۰ دقیقه و خاوری و ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه باختری قرار گرفته است و در حدود ۱/۷۱ درصد مساحت شهرستان شیراز و حدود ۰/۱۵ درصد از کل مساحت استان را شامل می‌شود. این شهر با میانگین ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا، بر اساس طول دوره آماری سال ۱۹۵۱ الی ۲۰۱۴ با میانگین سالانه بارش ۳۳۲/۵ میلی‌متر و میانگین سالانه دمایی ۱۸ درجه سانتی‌گراد، بر اساس واپسین سرشماری سال (۱۳۹۰) با جمعیتی بالغ بر ۱۵۴۹۴۵۳ در جنوب باختری ایران واقع است. این شهر به عنوان بزرگ‌ترین مرکز زیستی جنوب ایران حائز اهمیت فراوانی است (نارنگی‌فرد، ۱۳۹۱: ۱۸). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نیز در (شکل) نشان داده شده است. این شهر طی دهه‌های اخیر با رشد شتابان جمعیت همراه بوده است. میزان جمعیت طی دوره ۵۵ ساله از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۰ از ۱۷۰۶۵۹ به ۱۵۴۹۴۵۳ نفر افزایش یافته است که افزایش ۱۳۷۸۷۹۴ نفری را نشان می‌دهد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۸). همچنین افزون بر افزایش جمعیت در شهر شیراز مساحت کاربری شهری (بافت مسکونی) نیز با رشد فزاینده-ای همراه بوده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۴؛ روستا و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۴۹؛ روستا و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۸۳؛ احمدی و نارنگی‌فرد، ۱۳۹۴: ۱۱۱؛ مزیدی و نارنگی‌فرد، ۱۳۹۵: ۱۴۹). همچنین نقشه سه بعدی خطوط تراز در (شکل) نمایش داده شده است.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی سرزمین پژوهش



شکل (۲) نقشه سه بعدی خطوط تراز ارتفاعی شهر شیراز

در این پژوهش داده‌های بارش روزانه در بازه زمانی در بازه زمانی ۵۸ ساله (۱۹۵۶-۲۰۱۳) از اداره کل هواشناسی استان فارس دریافت و سپس نواقص آماری از طریق بازسازی با روش نسبت تفاضل‌ها و رابطه‌ی خطی رگرسیون توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد؛ پس از بازسازی داده‌ها، با انجام پردازش بر روی آن‌ها در محیط نرم افزارهای آماری SPSS و EXCEL محاسبات مربوطه انجام پذیرفت و نمودارهای خروجی در محیط نرم-افزارهای ArcGIS 9.2 و Surfer 10 تجزیه و تحلیل و ترسیم شدند. روش شناسی و منطق جبری محاسبات در این پژوهش بدین ترتیب است که در گام نخست فراسنج‌های مورد استفاده در پژوهش به ترتیب کمینه به بیشینه مرتب گردیدند. سپس بر اساس مختصات حد آستانه‌ها مثلثاتی (2Π) کمینه و بیشینه از طریق ساختارهای خطی ضوابط مورد نظر استخراج شد و هم مرجع‌سازی[1] جبری با استفاده از رابطه (۱) انجام پذیرفت.

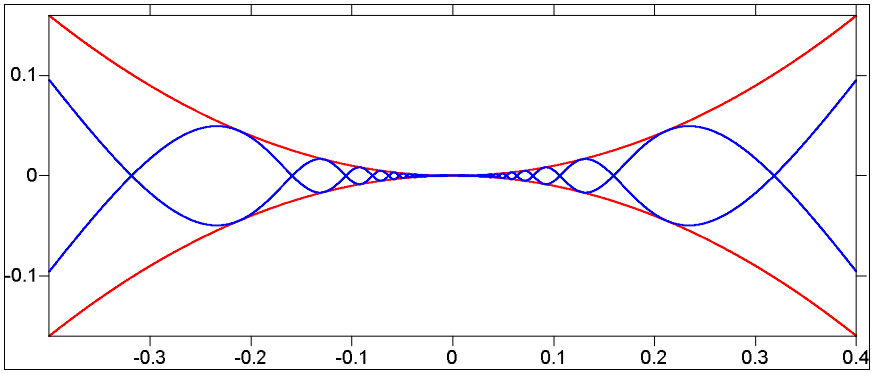
$$F(x) = \left[\left(\frac{\Delta f(x)}{\Delta x} x - \frac{\Delta f(x)}{\Delta x} x_0\right) + f(x_0)\right] \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در ادامه جهت اعمال ساختار فراکتالی با اعمال ضابطه حاصله از هم مرجع سازی با بکارگیری رابطه (۲) ساختار واقعی فراسنج‌های آب و هوایی مورد نظر بدست آمد.

$$\sin(1/m) \times Y = m^2 \qquad \text{رابطه (۲)}$$

سرانجام با همپوشانی نمودارهای خروجی از ساختارهای واقعی و ساختار کلاسیک فراکتالی (شکل ۳) در دامنه‌های جبری ۰/۴- تا ۰/۴+ مقایسه و روند جبری هر یک از فراسنج‌های آب و هوایی به تفکیک مورد ارزیابی قرار گرفت.

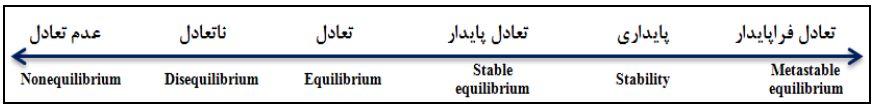
[1] - Mathematical Reference (MR)



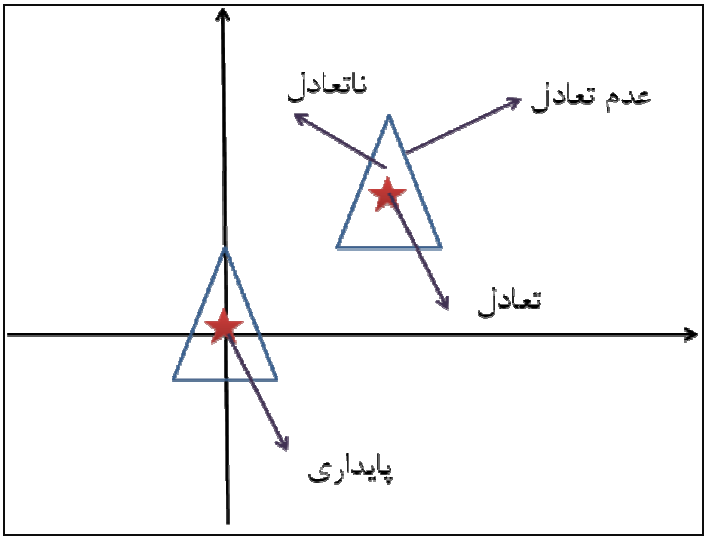
شکل (۳) ساختار کلاسیک فراکتال دو بعدی

حالات تعادلی

مفاهیمی همچون تعادل فراپایدار، پایداری، تعادل پایدار، تعادل، ناتعادل، عدم تعادل را می‌توان به صورت اشکال (شکل) و (شکل) نشان داد.



شکل (٤) طیف تعادلی از بازه تعادل فراپایدار تا عدم تعادل



شکل (۵) حالات هندسی تعادلی در دستگاه مختصات دکارتی

الف: تعادل:

در مثلث اول واقع در ربع اول کارتزین مرکز هندسی مثلث نقطه تعادلی است. این نقطه وزنی ژئومتریک دارد چون برآیند آن جبری است. به عبارت دیگر هرچه سایر نقاط به این نقطه نزدیک‌تر باشند حالت تعادلی به صورت کلاسیک‌تر بر قرار است. تذکر اینکه هر نقطه از برآینده جبری سه نقطه ارزشی محاسبه می‌گردد که می‌تواند یک عنصر اقلیمی یا عناصر اقلیمی و یا سیبرنتیک این عناصر با هر عنصر دارای ارزش جبری اعم از طبیعی و انسانی باشد.

ب: ناتعادل

حالتی است که برآیند نقاط فوق الذکر در مورد الف از نقطه مرکزی مثلث اول واقع در ربع اول فاصله‌دار می‌شوند و دقیقاً بر خود مرکز ثقل آن مثلث واقع نمی‌شوند به طوری که این نقاط اگرچه بر مرکز ثقل مثلث منطبق نمی‌شوند ولی هنوز در محدوده مثلث قرار دارند.

این حالت بیانگر عملکرد آشوب بر روی عناصری است که روی آن تحلیل‌های مورد نظر صورت گرفته است.

پ: عدم تعادل

حالتی است که برآیند عناصر خارج از محدود مثلث اول قرار می‌گیرد. اگر در تحلیل‌ها دینامیک متغیر از حالت ناتعادلی به سوی عدم تعادل باشد آنگاه عملکرد سیبرتیکی عناصر از دینامیسم آشوبناک (کیاسیک) به دینامیسم فراکتال حد خواهد پذیرفت.

ت: تعادل پایدار

حالت تعادل پایدار به حالتی اطلاق می‌گردد که در طی زمان و با افزوده شده پاکت‌های اطلاعاتی به بانک اطلاعات پیشین، نقاط جدید حاصل از برآیند عناصر باز هم در محدوده مثلث قرار گیرند حتی اگر دینامیسم وجودی مثلث گرایش به چرخش 2KΠ داشته باشند.

ج: تعادل فراپایدار

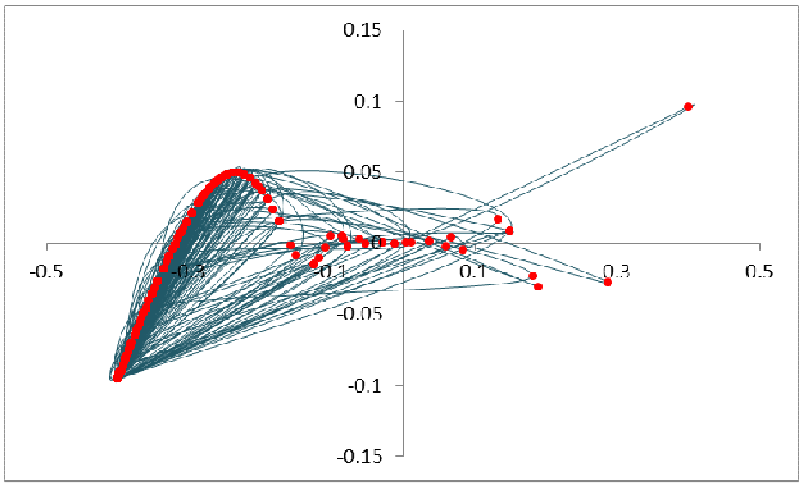
حالت تعادل فراپایدار به حالتی اطلاق می‌گردد که در طی زمان و با افزوده شده پاکت-های اطلاعاتی به بانک اطلاعات پیشین، نقاط جدید حاصل از برآیند عناصر باز هم در نقطه ثقل مثلث قرار گیرند، حتی اگر دینامیسم وجودی مثلث گرایش به چرخش 2KΠ داشته باشند.

د: پایداری

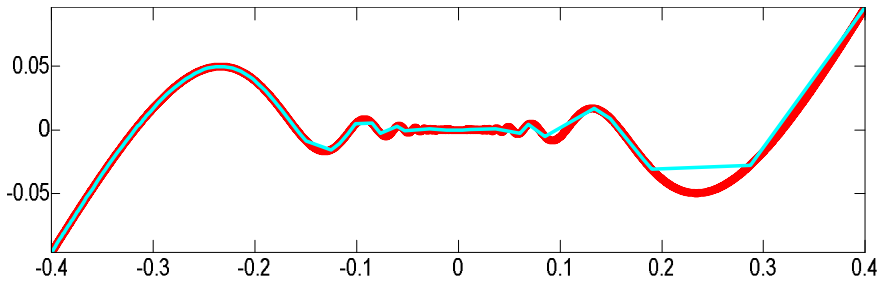
پایداری حالتی است که برآیند عملکرد عناصر اقلیمی (طبیعی) و انسانی و .... علاوه بر اینکه در محدوده مثلث سیبرنتیکی قرار دارند ضمناً مرکز این مثلث بر مرکز صفر کارتزین کلاسیک نیز واقع است که بروز این حالت در هیرارکی‌های طبیعی و انسانی به دلیل تصادفی بود شرایط وقوع فقط در منطق تعریف خواهد شد و در فضای هندسی واقعی بروز آن حد پذیری به سمت صفر خواهد داشت.

یافته‌ها و بحث

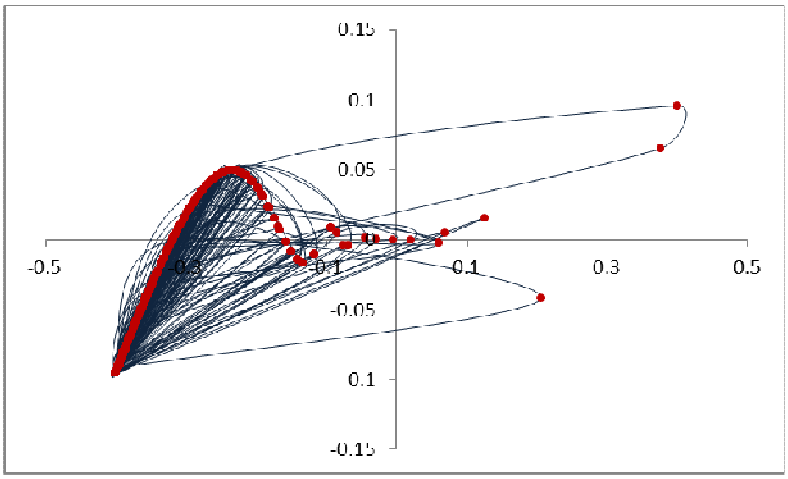
در این پژوهش بر پایه نتایج حاصله افزون بر بررسی روزانه ساختار حاکم بر بارش در بازه زمانی ۵۸ ساله (۱۹۵۶–۲۰۱۲) که در برگیرنده ۲۱۱۸۵ روز می‌باشد، ساختار حاکم به همراه بررسی و تعیین دینامیک تعادلی ساختارها و توابع آن در مقاطع سه گانه زمانی (سه دوره ۲۰ ساله) مختلف بارش روزانه نیز مورد بررسی جداگانه قرار گرفت. مقطع زمانی نخست از ۱ ژانویه سال ۱۹۵۶ تا ۷۰۶۵ روز پس از آن در نظر گرفته شد و محاسبات مربوطه بر روی داده‌های بازه زمانی نخست انجام پذیرفت، که بر اساس یافته‌های این پژوهش بارش در ایستگاه همدید شیراز در بازه نخست با اعمال ساختارهای جبری فراکتالی، از منطق فراکتالی پیروی نمی‌نماید (شکل ۶). در (شکل) ساختار واقعی با رنگ آبی بر روی ساختار کلاسیک با رنگ قرمز ترانما شده است. همچنین بر اساس نمودارهای خروجی بارش در بازه زمانی دوم با اعمال ساختارهای جبری فراکتالی، از منطق فراکتالی پیروی نمی‌نماید (شکل). در (شکل) ساختار واقعی با رنگ سبز بر روی ساختار کلاسیک با رنگ قرمز ترانما شده است.



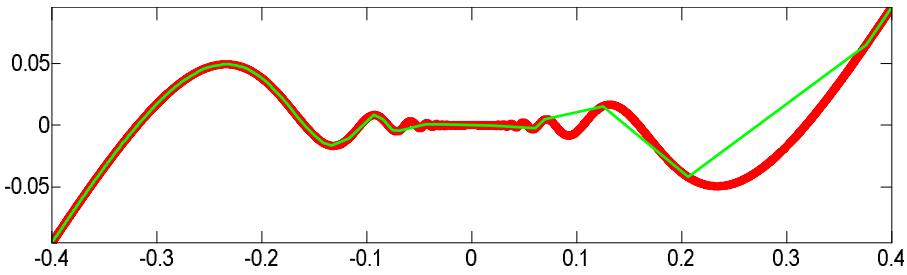
شکل (٦) ساختار فراکتالی روزانه بارش مقطع زمانی نخست



شکل (۷) ساختار کلاسیک و واقعی فراکتالی روزانه بارش مقطع زمانی نخست

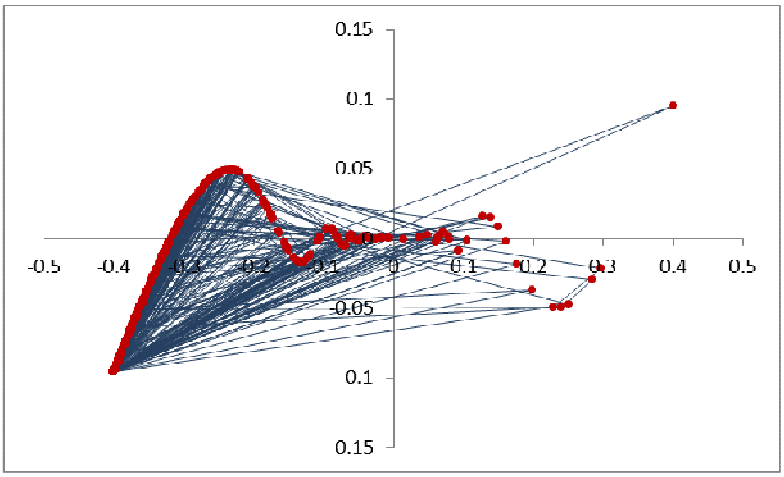


شکل (۸) ساختار فراکتالی روزانه بارش مقطع زمانی دوم

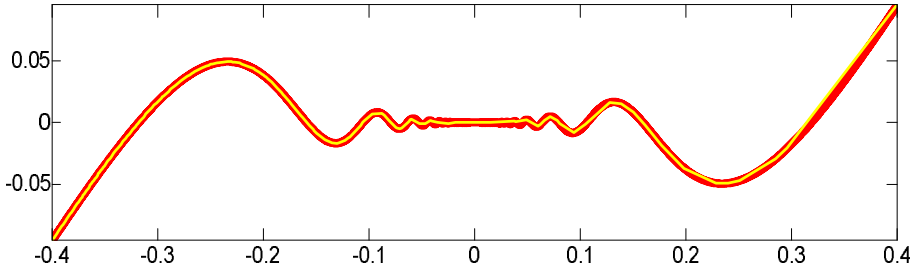


شکل (۹) ساختار کلاسیک و واقعی فراکتالی روزانه بارش مقطع زمانی دوم

برخلاف نتایج حاصل از دو بازه زمانی گذشته بر اساس نمودارهای خروجی بارش در بازه زمانی سوم با اعمال ساختارهای جبری فراکتالی، این بازه از منطق فراکتالی پیروی می‌نماید (شکل). در شکل (۱۱) ساختار واقعی با رنگ زرد بر روی ساختار کلاسیک با رنگ قرمز ترانما شده است. بنابراین با توجه به سه نمودار (شکل و شکل) دینامیک تعادلی ساختار بارش روزانه از آشوب به سمت فراکتال میل می‌کند.



شکل(۱۰) ساختار فراکتالی روزانه بارش مقطع زمانی سوم



شکل(۱۱) ساختار کلاسیک و واقعی فراکتالی روزانه بارش مقطع زمانی سوم

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی و پیش‌یابی‌های فراسنج‌های آب و هوایی به عنوان مهم‌ترین جنبه کاربردی و ابزاری در علوم مرتبط با جغرافیا مطرح است، ولی با تاکید بر این نکته که پژوهشگر مجاز نمی‌باشد با استناد به روش‌های محض احتمالات آماری به پیش‌بینی اقدام نماید، چون در این صورت نتایج بدست آمده روایی منطقی نخواهد داشت و تنها یک کمیت عددی است. در این راستا محقق پس از تعیین روند تغییرات و نوسانات فراسنج یا فراسنج‌های آب و هوایی معین خواهد نمود که این فراسنج‌های آب و هوایی از چه ساختاری تبعیت می‌نمایند، بدیهی است که در ساختار آشوبی به راحتی می‌توان از روش‌های محض احتمالات خطی یا غیرخطی استفاده نمود، ولی اگر برخی از فراسنج‌ها از ساختارهای فراکتالی و فازی تبعیت نمایند ولو اینکه یک یا چند عنصر آشوبی هم، وجود داشته باشد؛ آنگاه پژوهشگر در تحلیل ساختارهای فراکتالی و فازی گسسته باید از ماتریس‌های ترکیبی، احتمالات وقوع را محاسبه نماید و سپس در یک مهندسی معکوس به محاسبه حاشیه اطمینان بروز یا عدم بروز عنصر اقلیمی در یک نظام سلسله مراتبی اقدام نماید و در صورتی که با ساختارهای پیوسته فازی، فراکتالی و آشوبی روبرو باشیم در این حال باید از انتگرال‌های دو، سه یا چندگانه جهت محاسبه احتمال بروز و وقوع نوسان یا تغییر فراسنج یا فراسنج‌های آب و هوایی بهره جست. بنابراین مهم‌ترین کاربرد پژوهش حاضر تعیین روند حاکم بر تحلیل فراسنج‌های آب و هوایی با توجه به ساختار آن‌ها (آشوبی، فراکتالی و فازی) می‌باشد.

با توجه به تاثیر گذاری فراگیر فراسنج آب و هوایی بارش، در زمینه‌های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی در چارچوب تامین منابع آب؛ شناخت نوسانات، تغییرات و ساختار بارش به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش، مقادیر بارش روزانه ایستگاه همدید شیراز در بازه زمانی ۵۸ ساله (۱۹۵۶-۲۰۱۳) در مقاطع سه گانه مختلف زمانی (سه دوره ۲۰ ساله) بارش روزانه با رویکرد فراکتالی برای شناسایی رفتار و ساختارهای مسلط بر این متغیر مورد بررسی جداگانه قرار گرفت. با در نظر گرفتن این واقعیت که رفتار فراسنج‌های آب و هوایی در نقطه مختلف جهان تابعی است که هرگز از ساختارهای جبری یکنواخت پیروی نمی‌کند. بنابراین واکاوی سامانه-های پیچیده و تغییرات فراسنج‌های آب و هوایی غیر خطی با استفاده از انگاره‌های آشوبی، برخالی و فازی راهکار مناسبی برای شناخت وضعیت تعادلی و تحلیل‌های دینامیکی در تغییرات فراسنج‌های آب و هوایی است. یافته‌ها نشان داد که در مقطع زمانی نخست با اعمال ساختارهای جبری فراکتالی، از منطق فراکتالی پیروی نمی‌نماید. در بازه زمانی دوم نیز همانند بازه نخست ساختار بارش از منطق فراکتالی پیروی نمی‌کند؛ اما برخلاف دو بازه زمانی گذشته، در بازه زمانی سوم از منطق فراکتالی پیروی می‌نماید. به همین دلیل با توجه به سه بازه زمانی، دینامیک تعادلی ساختار بارش روزانه از آشوب به سمت فراکتال میل می‌کند.

منابع

-احمدی، محمود و مهدی نارنگی‌فرد (۱۳۹۴)، «آشکارسازی تغییرات کاربری و بررسی تاثیر آن بر دامنه‌های دمایی در منطقه یک شهر شیراز»، ***علوم محیطی***، دوره ۱۳، شماره ۲، صص۱۱۱-۱۲۰.

-احمدی، محمود؛ عاشورلو، داوود و مهدی نارنگی‌فرد (۱۳۹۱)، «تغییرات زمانی- مکانی الگوهای حرارتی و کاربری شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ & TM»، ***سنجش از دور و GIS ایران***، سال چهارم، شماره ۴، ۵۵-۶۸.

-احمدی، محمود؛ نارنگی‌فرد، مهدی و مهدی محمودآبادی (۱۳۹۳)، «پایش تغییرات کاربری در شهر شیراز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، دوازدهمین کنگره جغرافیدانان ایران»، نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد.

-اعلمی، محمدتقی و لیلا ملکانی (۱۳۹۲)، «بازسازی فضای حالت و بعد فرکتالی جریان رودخانه با استفاده از زمان تأخیر و بعد محاط»، ***نشریه مهندسی عمران و محیط زیست***، سال ۴۳، شماره ۱، صص ۱۵-۲۱.

-امیدوار، کمال و معصومه نبوی زاده (۱۳۹۳). «پیش‌بینی بارش روزانه استان کرمان با شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: کرمان، بافت و میانده جیرفت)»، ***جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای***، سال ۱۲ ،شماره ۲۳، صص ۲۱۴-۱۹۷.

-انیس حسینی، مسعود و محمد ذاکرمشفق (۱۳۹۲)، «تحلیل و پیشبینی جریان رودخانه کشکان با استفاده از نظریه آشوب»، ***مجله هیدرولیک***، دوره ۸، شماره ۳، صص ۴۵-۶۱.

-جانی، رسول؛ قربانی، محمدعلی و ابوالفضل شمسایی (۱۳۹۴)، «تحلیل بارش ماهانه بندرانزلی با استفاده از نظریه آشوب در شرایط تغییر اقلیم»، ***پژوهش آب ایران***، دوره ۹، شماره ۱، صص ۲۹-۳۹.

-خوش روی، مجتبی؛ میرناصری، محمد؛ پسرکلو، مهسا (۱۳۹۶). «آشکار سازی روند تغییرات بارش شمال کشور با استفاده از آزمون غیرپارامتری من-کندال»، ***پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز***، سال هشتم، شماره ۱۶، ص ۲۲۳-۲۳۱.

-روستا، زهرا؛ منوری، مسعود؛ درویشی، مهدی و فاطمه فلاحتی (۱۳۹۱)، «کاربرد داده‌های - سنجش از دور RS و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS در استخراج نقشه‌های کاربری اراضی شهر شیراز»، ***آمایش سرزمین***، سال چهارم، شماره ۶، صص ۱۴۹-۱۶۴.

-روستا، زهرا؛ منوری، مسعود؛ درویشی، مهدی؛ فلاحتی، فاطمه و مریم مروتی (۱۳۹۲)، «ارزیابی روند توسعه فیزیکی شهر شیراز و تأثیر شرایط فیزیوگرافیک بر روی روند تغییرات کاربری اراضی»، ***جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی***، سال بیست و چهارم، شماره ۴۹، صص ۱۸۳-۲۰۰.

-سپهر، عادل؛ خسروی، عذرا و زهرا عبداللهزاده (۱۳۹۵)، «رفتار فرکتالی و ارتباط آن با خصوصیات هیدرومورفومتری حوضه‌های آبریز دامنه‌ی شمالی بینالود»، ***هیدروژئومورفولوژی***، دوره ۳، شماره ۹، صص ۱-۲۰.

-فرزین، سعید؛ شیخ الاسلامی، سیدرضی و یوسف حسن‌زاده (۱۳۹۰)، «تحلیل آشوب پذیری سری زمانی با استفاده از ترسیم فضای فاز و روش بعد همبستگی مطالعه موردی بارش ماهانه در دریاچه ارومیه»، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

-قهرودی تالی، منیژه و خه‌بات درفشی (۱۳۹۴)، «بررسی آشفتگی در الگوی خطر سیلاب در تهران»، ***تحلیل فضایی مخاطرات محیطی***، سال ۲ ، شماره ۲، صص ۱-۱۶.

-عساکره، حسین؛ موحدی، سعید؛ سبزی پرور، علی اکبر؛ مسعودیان، ابوالفضل و زهره مریانجی (۱۳۹۳). «اقلیم شناسی بارش ایران با استفاده از تحلیل هم سازها»، ***تحقیقات جغرافیایی***، سال ۲۹، شماره ۴، صص ۲۶-۱۵.

-محمدی، بختیار؛ قلی زاده، محمدحسین، شریفه زارعی (۱۳۹۳). «شناخت الگوهای همدید بارش-های یکروزه در استان کردستان»، ***تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی***، سال چهاردهم، شماره ۳۵، صص ۲۷-۷.

-مزیدی احمد و مهدی نارنگی‌فرد (۱۳۹۵)، «ارزیابی پیامد تغییرات کیفیت پوشش گیاهی بر دامنه‌های دمایی در منطقه یک شهر شیراز»، ***فضای جغرافیایی***، سال ۱۶، شماره ۵۴، صص ۲۰۱-۲۲۰.

-مزیدی احمد، کمانه؛ عبدالعلی، نارنگی‌فرد، مهدی و رضا ابراهیمی (۱۳۹۵)، «واکاوی ساختار تعادلی آینده فراسنج دما در حوضه آبخیز دریاچه‌های طشک، بختگان و مهارلو با استفاده از مدل EH5OM»، ***فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب***، سال هشتم، شماره ۳۰، صص ۴۵-۶۲.

-مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۸۸). «نواحی بارشی ایران»، ***جغرافیا و توسعه***، شماره ۱۳، صص ۹۱-۷۹.

-نارنگی‌فرد، مهدی (۱۳۹۱)، «تحلیل فضایی دمای شهر شیراز بر اساس تصاویر ماهواره‌ای در دوره گرم و سرد سال و مقایسه با کاربری‌های شهری طی دوره آماری (۱۹۹۷-۲۰۰۷)»، پایان‌نامه

کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی تهران، استاد راهنما: محمود احمدی، استاد مشاور: داود عاشورلو، صفحه ۱۵۰.

-نوری قیداری، محمدحسین (۱۳۹۱)، «برآورد رگبار طرح با استفاده از تئوری مالتی فرکتال در ایستگاه سد گتوند»، ***دانش آب و خاک***، دوره ۲۲، شماره ۱، صص ۱۴۵-۱۵۴.

-Damle, C., & Yalcin, A. (2007). "Flood prediction using time series data mining". Journal of Hydrology, 333(2), 305-316.

-Dehghan, S., Kamaneh, S. A. A., Eslamian, S., Gandomkar, A., Marani-Barzani, M., Amoushahi-Khouzani, M., & Ostad-Ali-Askari, K. (2017). "Changes in Temperature and Precipitation with the Analysis of Geomorphic Basin Chaos in Shiraz", Iran. International Journal of Constructive Research in Civil Engineering (IJCRCE), 3(2), 50-57.

-Dhanya, C. T., & Kumar, D. N. (2010). "Nonlinear ensemble prediction of chaotic daily rainfall". Advances in Water resources, 33(3), 327-347.

-Jayawardena, A. W., & Lai, F. (1994). "Analysis and prediction of chaos in rainfall and stream flow time series". Journal of Hydrology, 153(1), 23-52.

-Jothiprakash, V., & Fathima, T. A. (2013). "Chaotic analysis of daily rainfall series in Koyna reservoir catchment area", India. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 27(6), 1371-1381.

-Khatibi, R., Sivakumar, B., Ghorbani, M. A., Kisi, O., Koçak, K., & Zadeh, D. F. (2012). "Investigating chaos in river stage and discharge time series". Journal of Hydrology, 414, 108-117.

-Kocak K., Saylan L. & Sen O., (2000). "Nonlinear time series prediction of O3 concentration in Istanbul". Atmospheric Environment, 34, 1267-1271.

-Sivakumar B., (2000). "Chaos theory in hydrology: Important issues and interpretations". Journal of Hydrology, 227, 1-20

-Sivakumar, B., & Jayawardena, A. W. (2002). "An investigation of the presence of low-dimensional chaotic behavior in the sediment transport phenomenon". Hydrological Sciences Journal, 47(3), 405-416.

-Wu, J., Lu, J., & Wang, J. (2009). "Application of chaos and fractal models to water quality time series prediction". Environmental Modelling & Software, 24(5), 632-636.
-Zounemat-Kermani, M., & Kisi, O. (2015). "Time series analysis on marine wind-wave characteristics using chaos theory". Ocean Engineering, 100, 46-53.