

## قیاس سیمپلکسی ساختار تعادلی بارش ماهانه شیراز با تاکید بر توابع برخالی - آشوبی

عبدالعلی کمانه<sup>۱</sup>، مهدی نارنگی فرد<sup>۲\*</sup>

۱- استادیار گروه جغرافیا طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، ایران

۲- دانش آموخته دکترا جغرافیا طبیعی - آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۰۸، تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۴)

### چکیده

واکاوی و پیش‌بینی سامانه‌های پیچیده و تغییرات فراسنج‌های آب و هوایی غیر خطی به ویژه بارش با استفاده از انگاره‌های آشوبی، برخالی و فازی راهکار مناسبی برای شناخت سیر تعادلی و تحلیل‌های دینامیکی در تغییرات این فراسنج‌ها است. در همین راستا در این پژوهش، دینامیک نوسانات فراسنج آب و هوایی بارش به تفکیک ماه‌های همراه با بارش، در ایستگاه همدید شیراز در بازه زمانی بلند مدت ۵۸ ساله (۱۹۵۶-۲۰۱۳) با رویکرد برخالی مورد واکاوی قرار گرفت. برای انجام این پژوهش پس از هم‌مرجع سازی ریاضی فراسنج بارش هر ماه با اعمال ساختار مثلثاتی برخالی بر روی داده‌های بدست آمده به مقایسه نتایج حاصله با هندسه کلاسیک برخالی پرداخته شد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، روند ماهانه بارش در هفت ماه توام با بارش در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، نوامبر و دسامبر از ساختار برخالی پیروی نمی‌کند؛ به بیان دیگر منطق حاکم بر ساختار فراسنج بارش در هفت ماه همراه با بارش از حالت تعادل به ناعادلی است. جهت بررسی کامل دینامیک تغییرات این فراسنج در ماه‌های توام با بارش در پژوهش‌های آینده باید از منطق آشوبی و یا فازی نیز بهره گرفت.

**کلمات کلیدی:** آشوب، برخالی، بارش، شیراز.

### مقدمه

جهت اجرای طرح‌های عمرانی و برنامه ریزی‌های صحیح و قابل قبول، باعث توجه پژوهشگران در سال‌های اخیر به این عنصر آب و هوایی بوده و پژوهش‌های گسترده‌ای بر روی این فراسنج اقلیمی انجام شده است (عساکره و همکاران، ۱۳۹۳). پژوهش در زمینه سامانه‌های دینامیک غیر خطی توسط پژوهشگران بسیاری مورد بحث قرار گرفته است، از جمله: من و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهشی، رفتار بارش ماهانه منطقه سیچوان در چین را با استفاد از روش بُعد همبستگی و بازسازی فضای فاز و آنتروپی کولموگروف بررسی کردند. آن‌ها با توجه به محاسبه بُعد همبستگی و آنتروپی کولموگروف، به این نتیجه رسیدند که بارش ماهانه در این منطقه از رفتاری آشوبناک برخوردار است. کواکاک<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای، به پیش‌بینی جریان ورودی ماهانه سد یاملا<sup>۲</sup> در ترکیه با استفاده از یک مدل پیش‌بینی بر اساس نظریه آشوب

در میان سامانه‌های فراکوشی، نظریه آشوب به دلیل داشتن خاصیت دینامیکی غیرخطی، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است (Jayawardena and Lai, 1994). انگاره اصلی تئوری آشوب این است که در هر بی‌نظمی، نظم نهفته است؛ به این معنا که نباید نظم را تنها در یک مقیاس جست و جو کرد، پدیده‌ای که در مقیاس محلی، کاملاً تصادفی و پیش‌بینی ناپذیر به نظر می‌رسد چه بسا در مقیاس بزرگ‌تر، کاملاً پایا و پیش‌بینی پذیر باشد (ذونعمت کرمانی و همکاران، ۱۳۹۴). بارندگی یکی از پیچیده‌ترین و اتفاقی‌ترین پدیده‌های طبیعی در مقایسه با دیگر فراسنج‌ها است. 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 نبوی‌زاده، ۱۳۹۳). تأثیر بارش بر شرایط محیطی و اقتصادی-اجتماعی و همچنین، نقش آن در برنامه‌ریزی خرد و کلان، و اهمیت آن

1. Kocak

2. Yamula

پرداختند. دهانیار<sup>۱</sup> و کومار (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای، رفتار آشوبناکی بارش روزانه را با بکارگیری مجموعه‌های غیرخطی مورد بررسی قرار دادند. در این 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 است. در پژوهشی دیگر دهانیار و کومار (۲۰۱۱)، با استفاده از داده‌های روزانه بارش حوضه مالاپرابا و دیگر فراسنج‌های هواشناختی به پیش‌بینی غیرخطی تک و چند متغیره بارش روزانه پرداختند، یافته‌های پژوهش نشان داد، عدم قطعیت در پیش‌بینی آشوبناک بارش با استفاده از روش غیر خطی چند متغیره نسبت به تک متغیره کاهش می‌یابد. جودپیرکاش و فادیم (۲۰۱۳) در پژوهشی، رفتار آشوبناک میانگین بارش روزانه در بازه زمانی ۴۹ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۹) حوضه آبریز کوینا<sup>۲</sup> در ماهاراشترا<sup>۳</sup>، هند را مورد مطالعه قرار دادند، نتایج نشان داد بارش در سه قالب روزانه، هفتگی و ده روزه از رفتار آشوبناک برخوردار است. ذونعمت کرمانی<sup>۴</sup> و کیشی<sup>۵</sup> (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.

هدف از این پژوهش بررسی و قیاس سیمپلکسی ساختار حاکم بر رفتار تعادلی بارش به تفکیک ماه‌های همراه با بارش با رویکرد بر خالی- آشوبی در بازه زمانی بلند مدت ۵۸ ساله (۱۹۵۶-۲۰۱۳) ایستگاه همدید شیراز است.

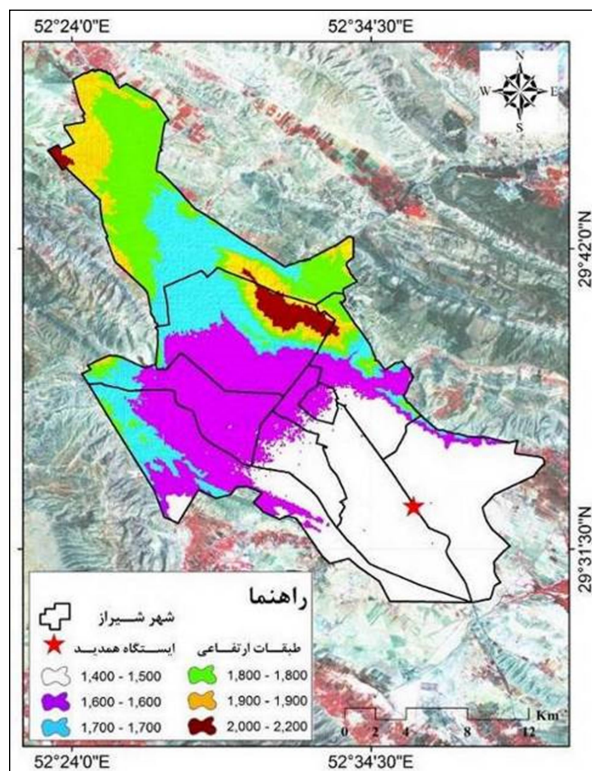
### مواد و روش‌ها

شهر شیراز مرکز استان فارس در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه ۳۳ دقیقه طول شرقی واقع شده است. موقعیت جغرافیایی و طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه نیز در (شکل ۱) نشان داده شده است.

غضنفری مقدم و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی بررسی دینامیکی استحصال آب از مه با نگرشی بر نظریه برخال<sup>۶</sup> پرداختند، نتایج پژوهش نشان داد که در سطح احتمال ۹۵ درصد بعد فرکتال برای رابطه دینامیکی برابر با ۲/۵۴ است. توکلی و بابازاده (۱۳۹۴) به ارزیابی توانایی مدل‌های سری زمانی و نظریه آشوب در برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع ایستگاه همدید تربت حیدریه پرداختند، نتایج این پژوهش نشان داد که مدل سری زمانی ARIMA و نظریه آشوب هر دو با دقتی نزدیک به یکدیگر تبخیر تعرق گیاه مرجع را برآورد می‌کنند. 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

1. Dhanya  
3. Maharashtra  
5. Kisi

2. Koyna  
4. Zounemat-Kermani  
6. fractal



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و طبقات ارتفاعی شهر شیراز به متر

و مقادیر مطلق بارش به ابعاد  $269 \times 269$  تشکیل شد، در گام بعد برای اعمال ساختار هندسی کمیت بارش و فراوانی آن هم مرجع شد؛ در ادامه ساختار برداری داده‌ها به صورت یک چرخه مثلثاتی تعریف و ضابطه حاکم بر آن محاسبه شد. برای تعیین تابع مورد نظر با اعمال ضوابط خطی بر روی داده‌های بلند مدت بارش دامنه درون داده‌ها و برد برون داده‌ها محاسبه شد. در این راستا به دلیل اینکه اصولاً پدیده‌های طبیعی بیشتر از رابطه خطی پیروی نمی‌کنند و در صورت پیروی از همبستگی حداکثری برخوردار نخواهند بود، بنابراین سیمپلکسیون داده‌های آب و هوایی مذکور در ساختاری غیر خطی از همبستگی بیشتری برخوردار است، بر همین اساس نخست به ضابطه‌یابی برخالی اقدام می‌شود، این ساختار با رعایت دوره گردش  $2kII$  در ضابطه چند جمله‌ای<sup>۱</sup> مثلثاتی با درجه دو در حالت کلاسیک خود نسبت به بردارهای  $X$  و  $Y$  با همبستگی حداقل ۹۵ درصدی کاملاً معنی‌دار خواهد بود، که از اعمال ساختار نپرن بر روی دامنه و بردهای داده‌های هم مرجع شده

برای انجام این پژوهش، نخست داده‌های بارش روزانه، ماهانه و سالانه در بازه زمانی ۵۸ ساله (۱۹۵۶-۲۰۱۳) از اداره کل هواشناسی استان فارس دریافت شد. پس از بازسازی داده‌ها، با انجام پردازش بر روی آن‌ها محاسبات مربوطه انجام پذیرفت. روش شناسی ساختار آشوبی به تنهایی یکی از اصول حاکم بر فرآیند تغییرات و نوسانات آب و هوایی و زیر سامانه‌های آن است. این تغییرات و نوسانات می‌تواند از ضوابط خطی یا غیر خطی پیروی نماید؛ به تجربه ثابت شده است بیش‌تر کارکرد سامانه‌های طبیعی و به ویژه سامانه جو از ساختار غیر خطی پیروی می‌نمایند. در این فرایند نخست داده‌های بلندمدت بارش ماهانه ایستگاه همدید شیراز با ساختارهای خطی و غیرخطی بررسی شد و بر حسب اینکه کدام ساختار از همبستگی همگن‌تری برخوردار است، آن ساختار در حقیقت چارچوب حاکم بر تغییرات و نوسانات فراسنج‌های هواشناسی قرار گرفت. منطق جبری محاسبات بدین ترتیب است که در گام نخست بارش ماهانه به صورت (کمینه به بیشینه) در طول دوره آماری مرتب شد، پس از آن آرایه فراوانی رخداد بارش

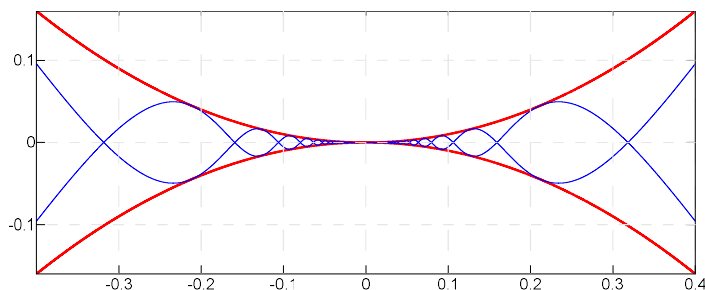
1. Polynomial

بارش ماهانه به تفکیک هر ماه با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شدند. (۲) نتیجه گرافیکی کلاسیک و بالفعل عملکرد نوسانی فراسنج

ماهانه بارش روی نمودار (شکل ۲) مشخص است.

$$F(x) = \left[ \left( \frac{\Delta f(x)}{\Delta x} x - \frac{\Delta f(x)}{\Delta x} x_0 \right) + f(x_0) \right] \quad (1)$$

سپس برای اعمال ساختار بر خالی با اعمال ضابطه حاصله از هم مرجع سازی با بکارگیری رابطه (۲) ساختار واقعی فراسنج های آب و هوایی مورد نظر بدست آمد (مزیدی و همکاران، ۱۳۹۵).

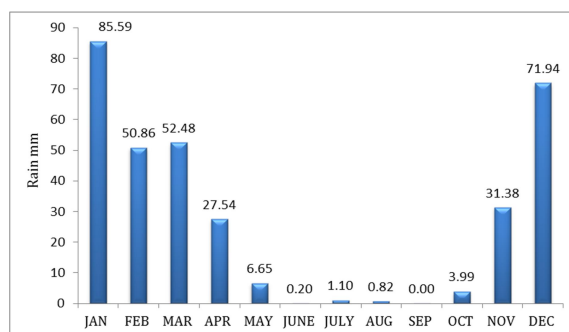


شکل ۲ - ساختار کلاسیک بر خال دو بعدی

روند نوسانات فراسنج آب و هوایی بارش ماه های مورد نظر با یک منطق آغاز و صورت نیاز به منطق های دیگر مراجعه می شود. در همین راستا در تحلیل منطق حاکم بر بارش ایستگاه شیراز از روند جبری فراوانی رخداد هر یک از مقادیر واقعی بارش ماهانه در یک آرایه وتری استفاده و نتایج محاسبه شده به صورت فراوانی های رخداد تجمعی صعودی مرتب شد، سپس نتایج حاصل در یک ساختار جبری مخروطی هم مرجع شدند.

### یافته های تحقیق

با توجه به ویژگی های آماری بارش ماهانه، بالاترین مقدار بارش ماهانه مربوط به ماه ژانویه در سال ۱۹۶۵ با ۳۲۴/۵ میلیمتر و پس از آن در ماه دسامبر سال ۲۰۰۴ با ۳۰۵/۲ میلیمتر به ثبت رسیده است. در این حال ماه ژانویه با میانگین بارشی ۸۵/۵۹ میلیمتر پربارش ترین و سپس ماه دسامبر با ۷۱/۹۴ میلیمتر دومین ماه پربارش در این ایستگاه است (شکل ۳). به منظور شناخت ساختار و تحلیل دینامیک تغییرات بارش به تفکیک ماه های همراه با بارش در ایستگاه همدید شیراز بدین گونه عمل می شود که در گام نخست برای انتخاب منطق حاکم بر

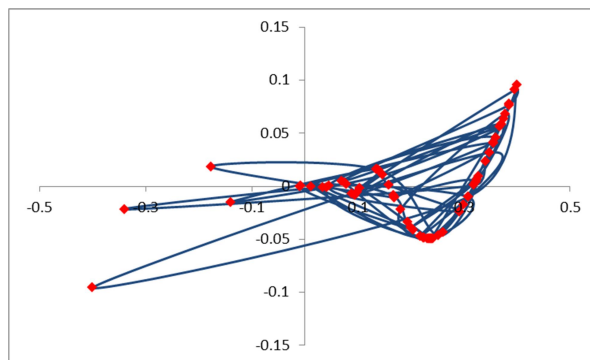


شکل ۳ - مقدار پراکنندگی میانگین بارش ماهانه ایستگاه همدید شیراز (۱۹۵۱-۲۰۱۴)

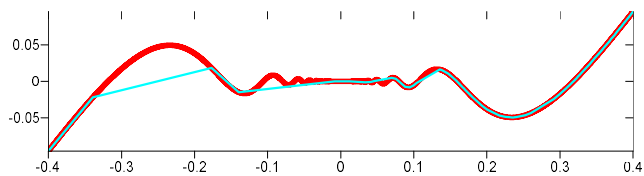
در ادامه حد آستانه‌های بیشینه و کمینه با اعمال ساختار نپ‌رین بر روی دامنه و بردهای داده‌های هم مرجع شده بارش ماهانه با در نظر داشت ضابطه (جدول ۱) ساختار حاکم بر فراسنج بارش در تابع بر خالی محاسبه شد. از میان دوازده ماه سال، هفت ماه که با بارش همراه است (ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، نوامبر و دسامبر) به تفکیک هر ماه محاسبات مربوطه، بر روی فراسنج بارش ماهانه انجام گرفت. فراسنج هم مرجع شده بارش ماه ژانویه ایستگاه همدید شیراز با ساختار کلاسیک بر خال با استناد به ضابطه (جدول ۱) محاسبه شد که نتایج این محاسبات و ساختار حاکم بر بارش در ماه ژانویه در (شکل ۴)

جدول ۱- آستانه‌های بارش ماهانه و ضوابط خطی حاکم بر آن در ایستگاه همدید شیراز

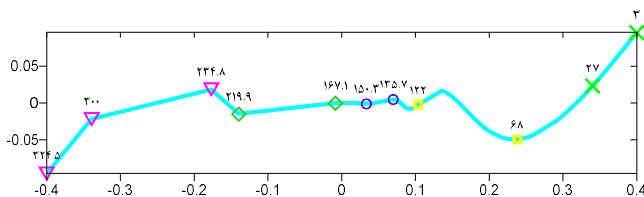
فراسنج	بارش ماه ژانویه به میلیمتر	بارش ماه فوریه به میلیمتر
بیشینه	۳۲۴/۵	۱۶۱/۵
کمینه	۳	۰
ضابطه	$y = (x * -0.002488336) + 0.4074650084$	$y = (x * -0.00495356) + 0.4$
فراسنج	بارش ماه مارس به میلیمتر	بارش ماه آوریل به میلیمتر
بیشینه	۱۸۸/۶	۱۶۹/۹
کمینه	۰	۰
ضابطه	$y = (x * -0.004241782) + 0.4$	$y = (x * -0.004708652) + 0.4$
فراسنج	بارش ماه می به میلیمتر	بارش ماه نوامبر به میلیمتر
بیشینه	۵۲/۵	۲۴۵
کمینه	۰	۰
ضابطه	$y = (x * -0.015238095) + 0.4$	$y = (x * -0.003265306) + 0.4$
فراسنج	بارش ماه دسامبر به میلیمتر	
بیشینه	۳۰۵/۲	۰
کمینه	۰	۰
ضابطه	$y = (x * -0.002621232) + 0.4$	



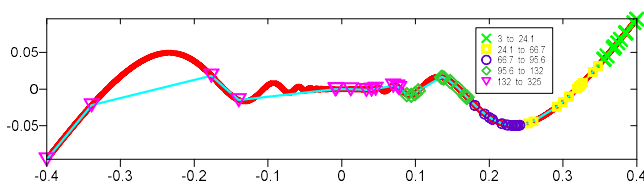
شکل ۴- ساختار بر خالی بارش ماه ژانویه



شکل ۵- ساختار کلاسیک و واقعی برخالی بارش ماه ژانویه

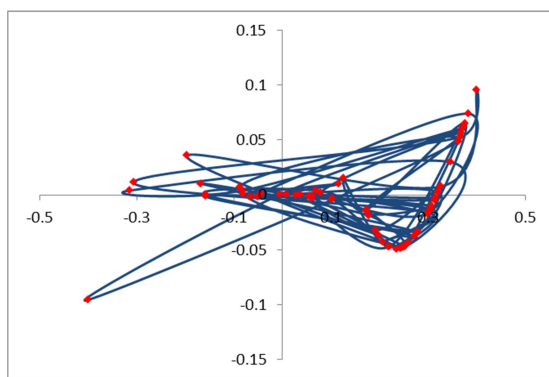


شکل ۶- همپوشانی ساختار واقعی برخالی و مقادیر مطلق نمونه بارش ماه ژانویه

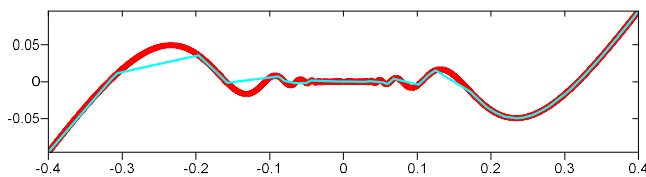


شکل ۷- همپوشانی ساختار کلاسیک و واقعی برخالی و مقادیر مطلق بارش ماه ژانویه

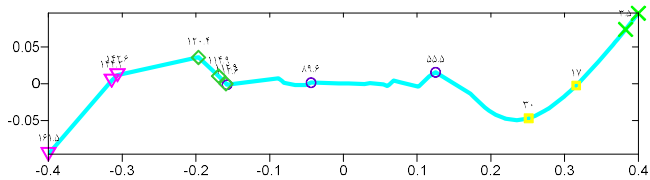
بررسی و محاسبات صورت گرفته و بر اساس یافته‌های پژوهش پیروی نمی‌نماید. در ماه مارس و به استناد ضابطه (جدول ۲) و نمودارهای (شکل ۱۲) تا (شکل ۱۵)، بارش در این ماه نیز از ساختار برخالی پیروی نمی‌نماید. در خصوص بارش در ماه فوریه و استناد به ضابطه (جدول ۲) و نمودارهای (شکل ۸) تا (شکل ۱۱) نشان می‌دهد، به مانند ماه پیشین (ماه ژانویه)، بارش در این ماه نیز از ساختار برخالی



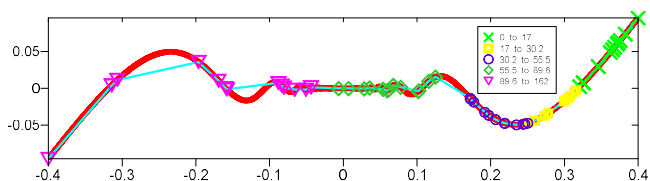
شکل ۸- ساختار برخالی بارش ماه فوریه



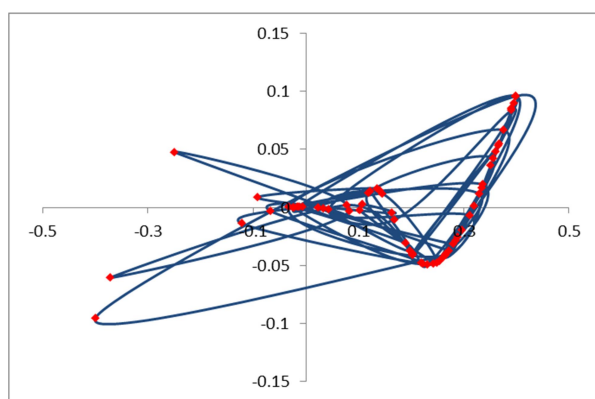
شکل ۹- ساختار کلاسیک و واقعی برخالی بارش ماه فوریه



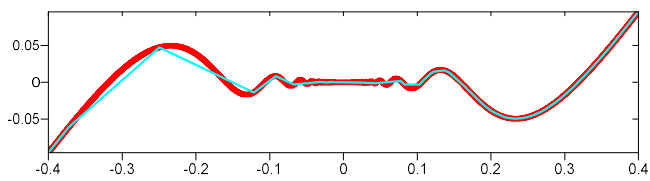
شکل ۳- همپوشانی ساختار واقعی برخالی و مقادیر مطلق نمونه بارش ماه فوریه



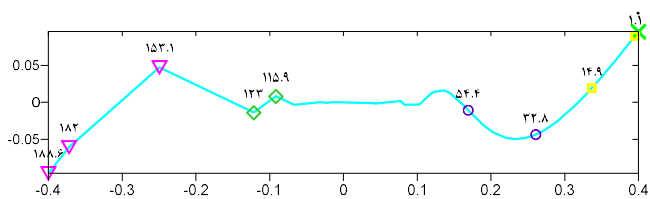
شکل ۴- همپوشانی ساختار کلاسیک و واقعی برخالی و مقادیر مطلق بارش ماه فوریه



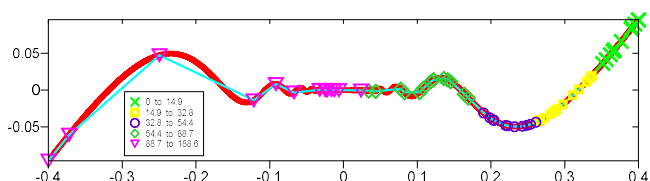
شکل ۵- ساختار برخالی بارش ماه مارس



شکل ۶- ساختار کلاسیک و واقعی برخالی بارش ماه مارس

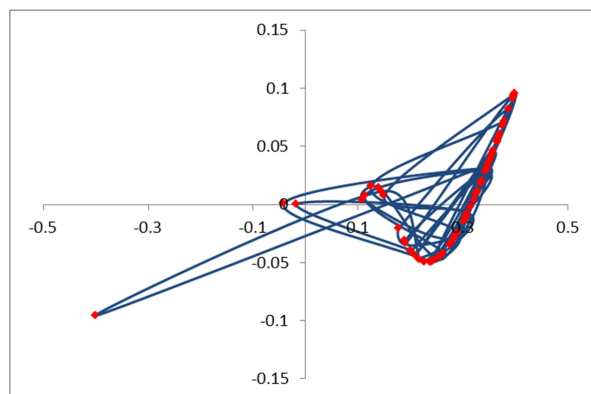


شکل ۷- همپوشانی ساختار واقعی برخالی و مقادیر مطلق نمونه بارش ماه مارس

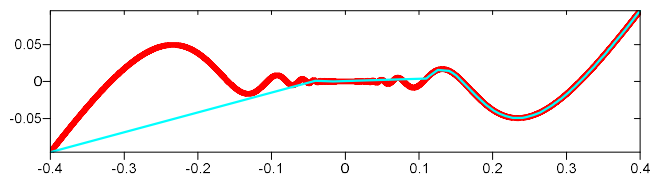


شکل ۸- همپوشانی ساختار کلاسیک و واقعی برخالی و مقادیر مطلق بارش ماه مارس

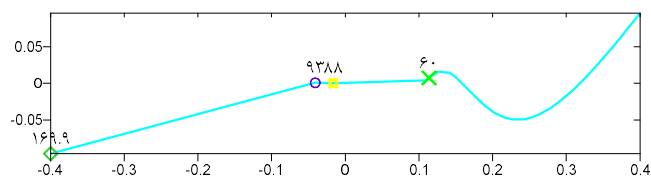
در ماه آوریل نیز به استناد ضابطه (جدول ۲) و نمودارهای (شکل ۱۶) تا (شکل ۲۴) و بر اساس نتایج نمودارهای (شکل ۲۴) تا (شکل ۲۷)، بارش در این ماه همانند دیگر ماهها از ساختار بر خالی پیروی نمی نماید. در خصوص بارش در ماه می به استناد ضابطه (جدول ۲) و همچنین نمودارهای (شکل ۲۰) تا (شکل ۲۳) نشان می دهد که بارش در این ماه نیز از ساختار بر خالی پیروی نمی نماید. در ماه نوامبر نیز به استناد ضابطه



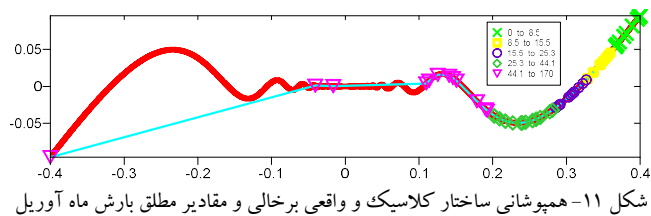
شکل ۱۶- ساختار بر خالی بارش ماه آوریل



شکل ۹- ساختار کلاسیک و واقعی بر خالی بارش ماه آوریل

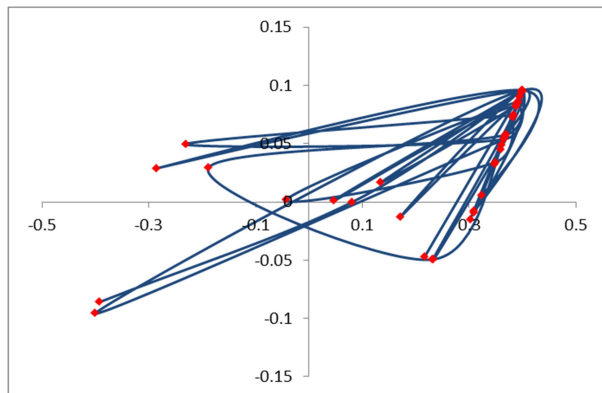


شکل ۱۰- همپوشانی ساختار واقعی بر خالی و مقادیر مطلق نمونه بارش ماه آوریل

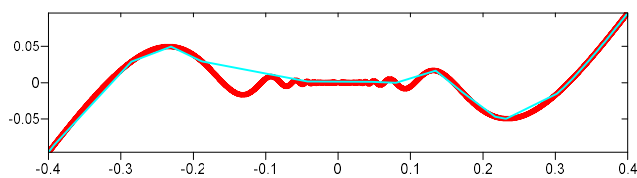


شکل ۱۱- همپوشانی ساختار کلاسیک و واقعی بر خالی و مقادیر مطلق بارش ماه آوریل

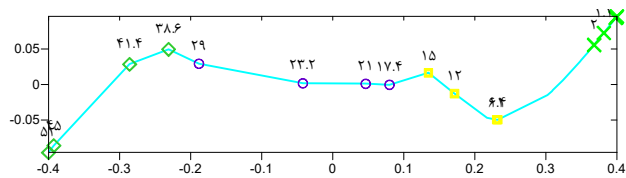




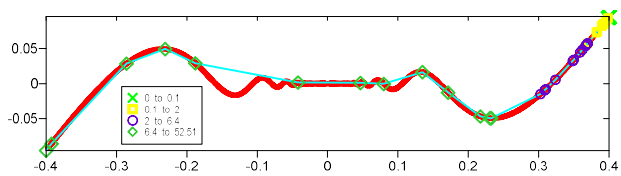
شکل ۲۰- ساختار برخالی بارش ماه می



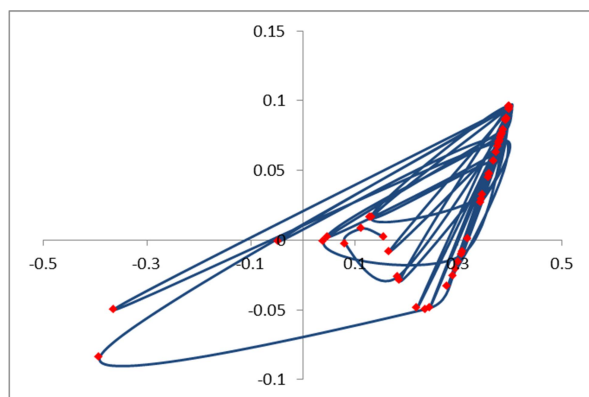
شکل ۱۲- ساختار کلاسیک و واقعی برخالی بارش ماه می



شکل ۱۳- همپوشانی ساختار واقعی برخالی و مقادیر مطلق نمونه بارش ماه می

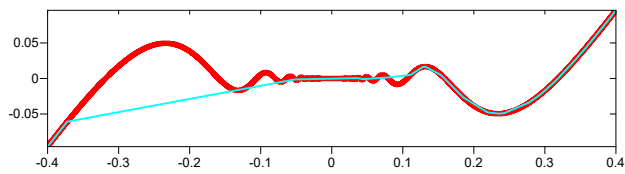


شکل ۱۴- همپوشانی ساختار کلاسیک و واقعی برخالی و مقادیر مطلق بارش ماه می

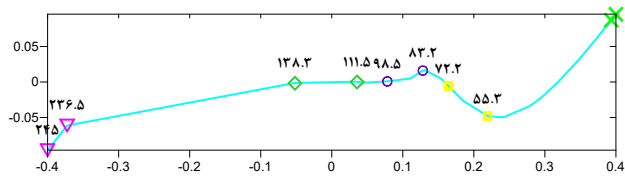


شکل ۱۵- ساختار برخالی بارش ماه نوامبر

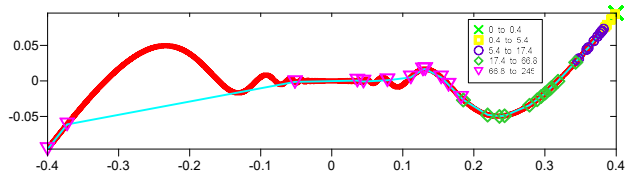
قیاس سیمپلکسی ساختار تعادلی بارش ماهانه شیراز با تاکید بر توابع بر خالی- آشویی



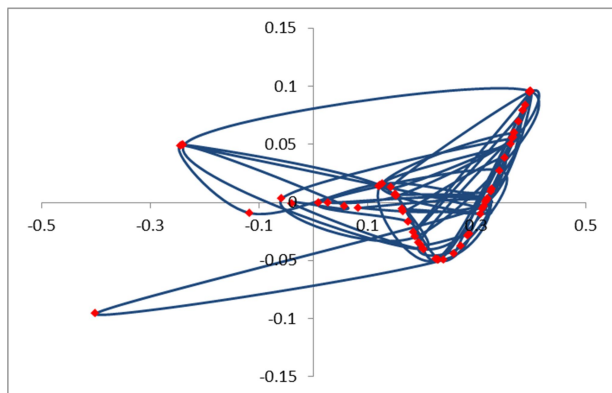
شکل ۱۶- ساختار کلاسیک و واقعی بر خالی بارش ماه نوامبر



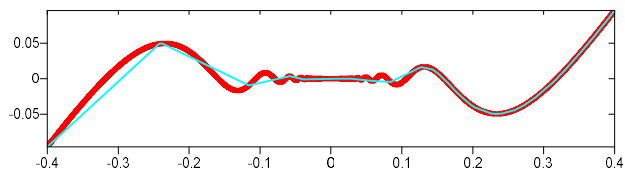
شکل ۱۷- همپوشانی ساختار واقعی بر خالی و مقادیر مطلق نمونه بارش ماه نوامبر



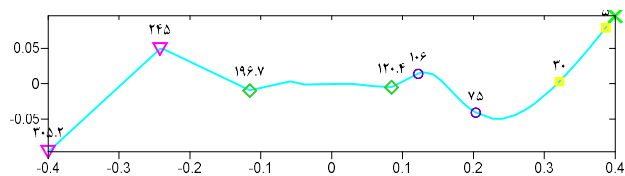
شکل ۱۸- همپوشانی ساختار کلاسیک و واقعی بر خالی و مقادیر مطلق بارش ماه نوامبر



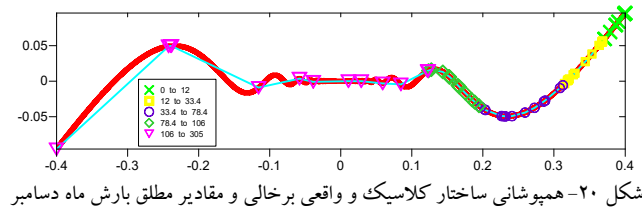
شکل ۱۹- ساختار بر خالی بارش ماه دسامبر



شکل ۲۰- ساختار کلاسیک و واقعی بر خالی بارش ماه دسامبر



شکل ۲۱- همپوشانی ساختار واقعی بر خالی و مقادیر مطلق نمونه بارش ماه دسامبر



شکل ۲۰- همپوشانی ساختار کلاسیک و واقعی برخالی و مقادیر مطلق بارش ماه دسامبر

## نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، مقادیر بارش ماهانه به تفکیک هر ماه در ایستگاه همدید شیراز در بازه زمانی ۶۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۱۴) جهت شناخت رفتار آشوبناک و ساختارهای حاکم بر این فراسنج مورد واکاوی قرار گرفت. بر اساس یافته‌های پژوهش، از میان دوازده ماه سال، هفت ماه (ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، نوامبر و دسامبر) با بارش همراه است. که در این هفت ماه به تفکیک هر ماه محاسبات مربوطه، بر روی فراسنج بارش ماهانه انجام گرفت. فراسنج هم مرجع شده بارش ماه ژانویه با ساختار کلاسیک برخال محاسبه شد که نشان داد ساختار بارش ماهانه در ماه ژانویه در محدوده  $-0/18$  و  $-0/35$  بر روی محور طولی از ساختار برخالی پیروی نمی‌نمایند. در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می، نوامبر و دسامبر نیز با توجه به یافته‌های پژوهش ساختار دینامیکی بارش در این ماه‌ها با ساختار برخالی مطابقت ندارند. به عبارت دیگر منطق حاکم بر ساختار فراسنج بارش در هفت ماه همراه با بارش از حالت تعادل به ناعادلی است؛ همچنین ضروری است اشاره شود که برای بررسی کامل دینامیک تغییرات این فراسنج در ماه‌های توأم با بارش در تحقیقات آینده باید از منطق آشوبی و یا فازی نیز بهره گرفته شود.

## منابع

۱. امیدوار، کمال و معصومه نبوی‌زاده 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 ۱۹۷-۲۱۴.
۲. توکلی، علیرضا و حسین بابازاده ۱۳۹۴، ارزیابی قابلیت مدل‌های سری زمانی و تئوری آشوب در برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع (ایستگاه سینوپتیک تربت حیدریه، خراسان
۳. رضوی، پژوهش آب ایران، دوره ۹، شماره ۲، صص ۱۱۱-۱۲۰.
۴. جعفرپور، زین‌العابدین، کمانه، عبدالعلی، آبی، یوسف و مریم السادات هاشمی ۱۳۹۰، بررسی اثرات و نوسانات و تغییرات پالنوکلیماتیک کوتاه‌تر بر حوضه ژئومورفولوژیک فسا، جغرافیای طبیعی، سال چهارم، شماره ۱۳، صص ۱۵-۲۶.
۵. ذونعمت کرمانی، محمد، خاطره امیرخانی و مجید رحیم پور ۱۳۹۴، بررسی آشوبناکی و بازسازی فضای فاز دینامیکی بارش در مقیاس‌های روزانه، هفتگی و ماهانه (مطالعه موردی: حوضه قره سو در کرمانشاه)، اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۱، صص ۷۹-۹۰.
۶. عساکره، حسین، موحدی، سعید، سیزی‌پرور، علی‌اکبر، مسعودیان، ابوالفضل و زهره مریانجی ۱۳۹۳، اقلیم شناسی بارش ایران با استفاده از تحلیل همسازها، تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره ۴، صص ۱۵-۲۶.
۷. عطایی، هوشمند ۱۳۸۷، شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو در سال‌های پربارش ایران، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۰، صص ۱۹-۳۸.
۸. غضنفری مقدم، محمدصادق، علی‌زاده، امین، ناصری مقدم، مهیار و موسوی بایگی سیدمحمد ۱۳۸۹، بررسی دینامیکی استحصال آب از مه با نگرشی بر نظریه فرکتال، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۲۴، شماره ۳، صص ۵۲۷-۵۳۳.
۹. قهرودی تالی، منیژه و خهبات درفش ۱۳۹۴، بررسی آشفتگی در الگوی خطر سیلاب در تهران، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ۲، شماره ۲، صص ۱-۱۶.
۱۰. کمانه، عبدالعلی، نارنگی‌فرد، مهدی، مزیدی، احمد و غلامعلی مظفری ۱۳۹۵، تحلیل توابع حاکم بر دینامیک ساختار تعادلی بارش ماهانه و سالانه در ایستگاه همدید شیراز، جغرافیای طبیعی، دوره ۹، شماره ۳۲، صص ۷۱-۸۸.
۱۱. مزیدی، احمد، کمانه، عبدالعلی، مظفری، غلامعلی و مهدی نارنگی‌فرد ۱۳۹۵، تغییرات بارش روزانه با استناد به تحلیل‌های

14. 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.
15. 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.
16. Men, B., Xiejing, Z., & Liang, C. 2004, chaotic analysis on monthly precipitation on Hills Region in Middle Sichuan of China. *Nature and Science*, 2(2), 45-51.
17. Zounemat-Kermani, M., & Kisi, O. 2015, Time series analysis on marine wind-wave characteristics using chaos theory. *Ocean Engineering*, 100, 46-53.
- آشوبی در شیراز، فصلنامه جغرافیا، سال چهاردهم، شماره ۵۰، صص ۱۴۷-۱۶۹.
۱۱. مزیدی، احمد، کمانه، عبدالعلی، نارنگی فرد، مهدی و رضا ابراهیمی ۱۳۹۵، واکاوی ساختار تعادلی آینده فراسنج دما در حوضه آبخیز دریاچه‌های طشک، بختگان و مهارلو با استفاده از مدل EH5OM، اکویولوژی تالاب، دوره ۸، شماره ۴.
12. Dhanya, C. T., & Kumar, D. N. 2010, nonlinear ensemble prediction of chaotic daily rainfall. *Advances in Water resources*, 33(3), 327-347.
13. Dhanya, C. T., & Kumar, D. N. 2011, Multivariate nonlinear ensemble prediction of daily chaotic rainfall with climate inputs. *Journal of Hydrology*, 403(3), 292-306.