

## تحلیل توابع حاکم بر دینامیک ساختار تعادلی بارش ماهانه و سالانه در ایستگاه همدید شیراز

### عبدالعلی کمانه

استادیار گروه جغرافیا، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

### مهدي نارنگی فرد\*

دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه یزد، یزد، ایران \*

### احمد مزیدی

دانشیار گروه جغرافیا طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه یزد، یزد، ایران

### غلامعلی مظفری

دانشیار گروه جغرافیا طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۳

### چکیده

به کارگیری منطق آسوب، برخال و فازی در شناخت بسیاری جزئیات در پدیده‌های طبیعی که تاکنون غیرقابل توضیح و توصیف بودند، سودمند و راه گشاست. در این چارچوب با هدف تعیین دینامیک تعادلی ساختار حاکم بر رفتار بلند مدت (۱۹۵۱-۲۰۱۴) فرا سنج ماهانه و سالانه بارش در ایستگاه همدید شیراز از تحلیل توابع غیرخطی سیمپلکسی بارش استفاده شد. به این منظور جهت تحلیل منطق حاکم بر بارش ایستگاه شیراز از روند جبری فراوانی رخداد هر یک از مقادیر واقعی بارش ماهانه و سالانه در یک ماتریس وتری استفاده شد، سپس همبستگی میان درون داده‌ها (x) و برون داده‌ها (y) توابع مثلثاتی ناشی از ماتریس وتری مقادیر مطلق بارش و فراوانی رخداد آن محاسبه و ضوابط مورد نظر استخراج شد. یافته‌های پژوهش نشان داد دینامیک بارش ماهانه شیراز با استدلال به جبر سیمپلکسی به صورت تابع  $Y = 0/5717x^{0.06}$  تعریف می‌گردد و با توجه به اینکه همبستگی بین درون داد و برون داد سیمپلکسی ناشی از ماتریس وتری در بالاترین حد خود در میان توابع محاسبه شده و با رعایت دوره گردش  $2k\pi$  در ضابطه پولی نومیال مثلثاتی با درجه دو نسبت به بردارهای x & y با همبستگی بیش از ۰/۵ می‌باشد (۰/۶)، بنابراین ساختار حاکم بر فرا سنج بارش ماهانه از تابع برخالی پیروی می‌نماید. این روند در قالب زمان سالانه نیز از همین ساختار پیروی می‌کند. به عبارت دیگر ساختار ماهانه و سالانه فرا سنج بارش در شیراز از ساختار آسوبی به سمت ساختار برخالی و از حالت نا تعادلی به عدم تعادل میل می‌نماید.

واژگان کلیدی: رفتار بارش، آسوب، برخال، ایستگاه همدید شیراز.

### مقدمه

نظریه آسوب به مطالعه نظام‌هایی می‌پردازد که در نگاه نخست به نظر می‌رسد رفتار تصادفی داشته باشند، اما در واقع همین نظام تحت حاکمیت قوانین مشخصی است و با نگاهی عمیق‌تر، نوعی دوره تناوب و نظم در آن‌ها مشهود

می‌گردد. حساسیت به شرایط اولیه، ناپایداری، غیر دوره‌ای، قطعی و غیرخطی بودن، ویژگی‌های یک سامانه آشوبناک را تعریف می‌کنند (اعلمی و ملکانی، ۱۳۹۲: ۱۵؛ حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱: ۹). این انگاره نوع پیشرفته‌ای از انگاره دستگاه‌های پویا<sup>۱</sup>، شاخه‌ای از ریاضیات که با دستگاه‌هایی که حرکت‌شان بر اساس قوانین ساده‌ای هستند در رابطه می‌باشد. این انگاره برای نخستین بار در قرن هفدهم میلادی توسط نیوتن زمانی که می‌خواست حرکت‌های منظومه خورشیدی را بر اساس قوانین جدیدش (نظریه عمومی گرانش) مدل‌سازی کند، پرورش یافت، که تمام توجه خود را بر روی حرکت‌های ترکیبی<sup>۲</sup> قرارداد که تماماً غیرخطی هستند و از پیچیدگی و حساسیت زیادی برخوردارند، به طوری که بر اساس دیفرانسیل مدل غیرخطی سامانه می‌توان، رفتار یک سامانه آشوبناک<sup>۳</sup> را مطالعه کرد (علمی‌زاده و شایان، ۱۳۹۳: ۲۱۸). هیلز در ۱۹۹۰ آشوب یا بی‌نظمی را این‌گونه تعریف می‌کند: بی‌نظمی و آشوب نوعی بی‌نظمی منظم<sup>۴</sup> یا نظم در بی‌نظمی است. بی‌نظم از آن‌رو که نتایج آن غیرقابل پیش‌بینی است و منظم بدان جهت که از نوعی قطعیت برخوردار است (حاجی کریمی، ۱۳۸۹: ۳۳). در این میان، بارش در بین عناصر اقلیمی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (عطایی، ۱۳۸۷: ۲۰). بارش حیاتی‌ترین عنصر اقلیمی است که تقریباً تمامی ابعاد حیات کره زمین را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (عزیزی، ۱۳۷۹: ۱۱۵). بارندگی یکی از پیچیده‌ترین 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 نبوی‌زاده، ۱۳۹۳: ۱۹۸). تأثیر 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 گسترده‌ای بر روی این فرا سنج اقلیمی انجام شده است (عساکره و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۵).

پژوهش‌های انجام گرفته بسیاری در ایران نشان می‌دهد که در میان فرا سنج‌های آب و هوایی، فرا سنج بارش از بیش‌ترین بی‌نظمی و تغییرپذیری شدید و چشمگیر زمانی برخوردار است (عساکره و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۵؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۸؛ رسولی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷۲) و پس از دما و رطوبت جوی، بارش سومین عامل تفاوت‌های 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 بنا بر آن است که روشن شود، رفتار بارش در قالب‌های زمانی متفاوت (ماهانه و سالانه) از چه ساختار (آشوبناک، برخالی و یا فازی) و حالت تعادلی پیروی می‌نمایند.

1 - dynamical systems theory

2 - Complex motions

3 - Chaotic

4 - Orderly disorder

پژوهش در زمینه سامانه‌های دینامیک غیرخطی تقریباً در تمام علوم طبیعی و انسانی اعم از اقتصاد و زبان‌شناسی، فیزیک و ژئومورفولوژی رشد کرده است (Baas, 2002: 309). همچنین توانایی آشکارسازی و مدل‌سازی رفتار آشوبناک در محدود سری زمانی هیدرولوژیکی توسط پژوهشگران مورد بحث قرار گرفته است (Schertzer, et al., 2002; Sivakumar, et al., 2002; Khan, et al., 2005). در این زمینه، جاوایاردنا<sup>۱</sup> و لای<sup>۲</sup> (۱۹۹۴) آشوبناکی رفتار بارش و دبی روزانه را به ترتیب در سه و دو ایستگاه هیدرومتری در هنگ‌کنگ بررسی کردند. در این پژوهش از روش‌های بُعد همبستگی، نمای لیاپانوف، آنتروپی کولموگروف و روش پیش‌بینی غیرخطی (ARMA) استفاده شد. که نتایج پژوهش، وجود رفتار آشوبناک در داده‌های بارش و دبی در هنگ‌کنگ را نشان داد. سیواکومار<sup>۳</sup> و جایواردینا<sup>۴</sup> (۲۰۰۲) در پژوهشی رفتار دینامیکی رسوب‌های معلق و رسوب‌های بستر را در حوضه رودخانه می‌سی‌سی‌پی آمریکا مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که بار رسوبی رودخانه دارای ویژگی‌های آشوبی است. سولوماتین<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۱) در پژوهشی به تخمین سطح آب دریای شمال با استفاده از نظریه آشوب پرداختند. نتایج پژوهش، برتری روش‌های غیرخطی برای سری‌های زمانی تک متغیره را نسبت به مدل‌های خطی نشان دادند. کان<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۵) امکان وجود سیگنال‌های آشوبی در سری زمانی محدود را بررسی کرده و نشان دادند که داده‌های هیدرولوژیکی محدود هم می‌تواند رفتار آشوبناکی از خود نشان دهند. کواک<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۸) در این مطالعه‌ای، به‌پیش بینی جریان ورودی ماهانه سد یاملا<sup>۸</sup> در ترکیه با استفاده از مدل پیش‌بینی نظریه آشوب پرداختند. دومنیکو<sup>۹</sup> و قربانی (۲۰۱۱) در پژوهشی، میزان آشوبناکی جریان رودخانه کارون را در طول یک دوره شش سال (۱۹۹۹-۲۰۰۴) مورد بررسی قرار دادند، نتایج پژوهش نشان داد جریان رودخانه کارون دارای رفتار آشوبناک کم می‌باشد. خطیبی<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۱۱) سری زمانی ساعتی سطح آب دریا در بندر هیلاری<sup>۱۱</sup> واقع در غرب استرالیا را با استفاده از نظریه آشوب و برنامه‌نویسی ژنتیک<sup>۱۲</sup> تخمین زدند. مقایسه میان نتایج پیش‌بینی دو مدل نشان داد که در این منطقه دقت تخمین مدل آشوب به‌صورت جزئی بالاتر از مدل ژنتیک است. همچنین در پژوهشی دیگر، خطیبی و همکاران (۲۰۱۲) وجود رفتار آشوبناک رودخانه سوقوتنهان در ترکیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش بیانگر آشوب کم بُعد در سری زمانی داده‌های مورد مطالعه است. دومنیکو و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به مقایسه نظریه آشوب و روش خود رگرسیون انباشته و میانگین متحرک جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات سطح آب دریا پیرامون جزایر کوکوس<sup>۱۳</sup> در بازه زمانی روزانه، هفتگی، ده روزه و ماهانه در

<sup>1</sup> - Jayawardena

<sup>2</sup> - Lai

<sup>3</sup> - Sivakumar

<sup>4</sup> - Jayawardena

<sup>5</sup> - Solomatine

<sup>6</sup> - Khan

<sup>7</sup> - KOÇAK

<sup>8</sup> - Yamula

<sup>9</sup> - Domenico

<sup>10</sup> - Khatibi

<sup>11</sup> - Hillarys

<sup>12</sup> - Genetic Programming (GP)

<sup>13</sup> - Cocos (Keeling) Islands

طی سال‌های (۱۹۹۲-۲۰۰۱) پرداختند. تحلیل مقایسه‌ای نتایج نشان داد هر دو روش از نتایج قابل قبولی برخوردارند که البته روش پیش‌بینی مبتنی بر نظریه آشوب از میزان خطای کمتری برخوردار است. ذونعمت کرمانی<sup>۱</sup> و کیشی<sup>۲</sup> (۲۰۱۵) در پژوهشی، ویژگی‌های امواج دریایی را در دریاچه مازندران با به‌کارگیری نظریه آشوب مورد بررسی قرار دادند، نتایج پژوهش رفتار آشوبی امواج باد را نشان می‌داد.

در ایران برای نخستین بار مفهوم آشوب در محاسبات سیبرنتیکی در تفسیرهای آب و هوایی و ژئومورفولوژیک توسط رامشت و توانگر (۱۳۸۱)، رامشت (۱۳۸۲) و رامشت و همکاران (۱۳۸۶) در حیطه علوم جغرافیائی در کشور مطرح شد و به تبیین مفاهیمی همچون تعادل، نا تعادلی<sup>۳</sup> و عدم تعادل<sup>۴</sup> پرداخت. در ادامه طالب بیدختی و همکاران (۱۳۸۵) و قاهرایی و همکاران (۱۳۹۱) وجود آشوب در جریان رودخانه‌ای را مورد بررسی قرار دادند؛ در این پژوهش، نتایج حاصل حاکی از دقت قابل قبول و مناسب نظریه آشوب در پیش‌بینی جریان رودخانه‌ای اهر چای بود. فرزین و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی سری زمانی بارش ماهانه دریاچه ارومیه در طول دوره آماری چهار ساله اخیر با استفاده از مفاهیم نظریه آشوب مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از رفتار آشوبناک سری زمانی مورد مطالعه می‌باشد. قربانی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی، کارایی نظریه آشوب در پیش‌بینی میزان رسوب‌های معلق رودخانه ليقوان را مورد آزمون قرار دادند، نتایج قابل قبول الگوریتم پیش‌بینی موضعی نشان داد که نظریه آشوب می‌تواند در تخمین میزان رسوب معلق رودخانه‌ها و مدل‌سازی آن مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در پژوهشی دیگر، مرادی زاده کرمانی و همکاران (۱۳۹۱) مقادیر دبی روزانه رودخانه ليقوان در طی ۳۰ سال را با استفاده از دو مدل نظریه آشوب و برنامه‌ریزی ژنتیک مورد بررسی قرار دادند، نتایج پژوهش حاکی از دقت خوب و کم‌وبیش مشابهی از هر دو روش در پیش‌بینی دبی جریان است. بنابراین هر دو روش مطابق نتایج به‌دست‌آمده می‌توانند جهت مدل‌سازی و فرایند پیش‌بینی دبی مورد استفاده قرار گیرند. لطف‌اللهی یقین و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی، ویژگی‌های دینامیکی سری زمانی ارتفاع موج شاخص ساعتی در ورودی بندر انزلی دریای مازندران و پیش‌بینی آن با بهره‌مندی از مفاهیم نظریه آشوب را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش بیانگر دقت قابل قبول و مناسب این نظریه در پیش‌بینی کمی ارتفاع موج شاخص دریا می‌باشد. اعلمی و ملکانی (۱۳۹۱) در پژوهشی، به بازسازی فضای حالت و بعد برخالی جریان رودخانه نهند چای در استان آذربایجان شرقی با استفاده از زمان تأخیر و بعد محاط پرداختند، پیش‌بینی‌های نسبتاً دقیق به‌دست‌آمده برای سری جریان رودخانه نشان می‌دهد روش دینامیک آشوبی برای شناسایی و پیش‌بینی جریان در حوضه رودخانه نهند چای مناسب است. همچنین در پژوهشی دیگر توسط حسن‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) نوسانات روزانه تراز آب دریاچه ارومیه در طول دوره آماری ۴۴ ساله با استفاده از مفاهیم نظریه آشوب مورد بررسی قرار گرفت، نتایج پژوهش نشان داد نوسان‌های تراز آب دریاچه ارومیه دارای ماهیتی آشوبناک می‌باشد. این امر گواه آن است که رفتار سیستم غیر تصادفی است و به عبارتی می‌توان تراز آب دریاچه را

1 - Zounemat-Kermani

2 - Kisi

3 - Disequilibrium

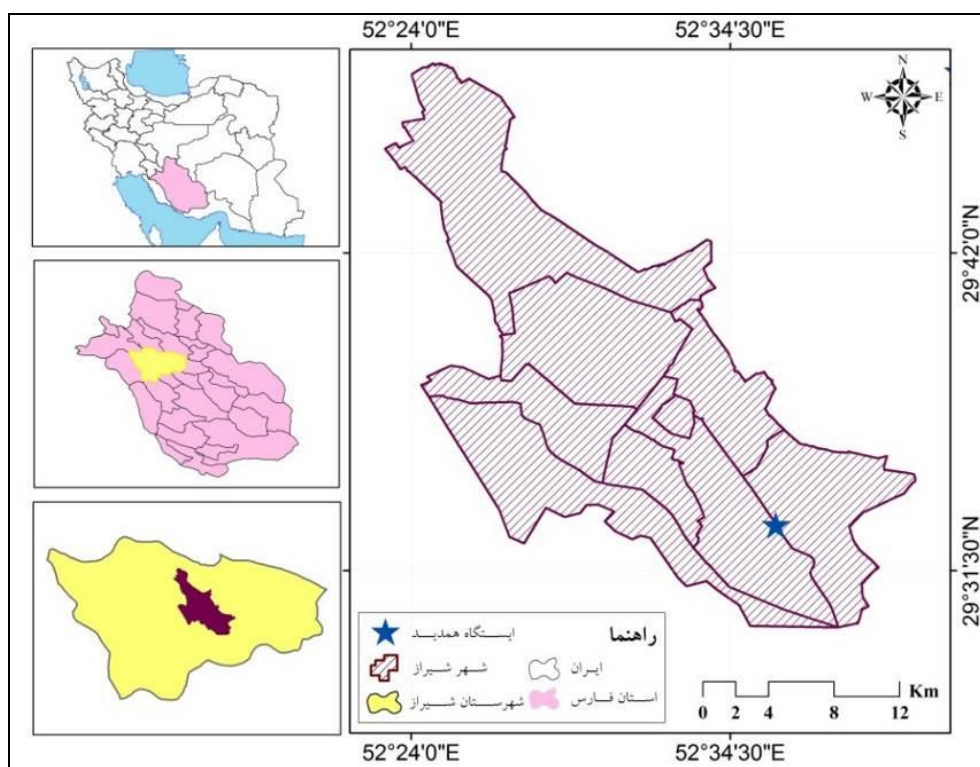
4 - Nonequilibrium

پیش‌بینی کرد. امیرخانی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی آشوبناکی دبی جریان رودخانه قره‌سو کرمانشاه در مدت ۸ سال پرداختند، نتایج به‌دست‌آمده شامل مقدار زمان تأخیر ۸۸ روز، بعد محاط برابر ۵۸ و بر اساس زمان تأخیر به‌دست‌آمده، بعد همبستگی ۲۳/۵ می‌باشد که میزان آشوبناکی دبی را با درجه پایین نشان می‌دهد. جانی و همکاران (۱۳۹۲) به تحلیل بارش ماهانه بندرانزلی با استفاده از نظریه آشوب پرداختند، نتایج پژوهش حاکی از آن است که بارش در دوره تاریخی دارای رفتار آشوبناک قطعی با بعد برخال ۵/۹۶ می‌باشد. 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 به‌کارگیری نظریه آشوب، مناسب تلقی می‌شود. همچنین پژوهش نعمتی و نقی پور (۱۳۹۲) در مدل‌سازی دبی جریان رودخانه کرج به‌وسیله بازسازی فضای حالت آشوبی نشان داد پیش‌بینی موضعی انجام شده مدل با استفاده از نظریه آشوب در محدوده‌ی افق پیش‌بینی از دقت قابل قبولی برخوردار است. حاتمی و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله‌ای تأثیر حذف نویز بر رفتار سری زمانی دبی رودخانه بافت با به‌کارگیری نظریه آشوب در طی ۱۰ سال مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از محاسبه‌های بعد همبستگی پیش از نویز گیری بیانگر رفتار تصادفی جریان با زمان تأخیر ۳۳ روز و بعد محاط ۱۳ است که برای بازسازی فضای حالت سری زمانی پیش از نویز گیری استفاده شده است و محاسبه‌ها پس از نویز گیری بیانگر زمان تأخیر ۲۲ روز و بعد محاط ۱۰ است و محاسبه‌های بعد همبستگی در این حالت نیز نشان‌دهنده عدم قطعیت رفتار جریان رودخانه می‌باشد. جباری قره‌باغ و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای با استفاده از آمار ۲۰ ساله به بررسی وجود آشوب در جریان روزانه رودخانه نازلو چای واقع در استان آذربایجان غربی پرداختند، نتایج پژوهش حاکی از وجود آشوب در سری زمانی جریان روزانه رودخانه نازلو چای بود. کمانه و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی بازخوردهای آب و هوایی و ژئومورفولوژیک جهت توسعه فیزیکی شهر شیراز با استفاده از ضوابط برخالی و آشوبی پرداختند. انیس حسینی و ذاکرمشفق (۱۳۹۴) در پژوهشی، به مقایسه مدل‌های محلی آشوبناک مبتنی بر فضای فاز در پیش‌بینی جریان رودخانه کشکان پرداختند؛ روش‌های تقریب محلی شامل روش میانگین و چندجمله‌ای در این پژوهش به کار گرفته شدند. همچنین در رویکردی جدید در این پژوهش، از شبکه عصبی مصنوعی در یک مدل پیوندی برای مدل‌سازی محلی مبتنی بر فضای فاز استفاده گردید. نتایج این روش‌ها، نشان داد کیفیت مناسب مدل‌سازی محلی مبتنی بر فضای فاز سامانه آشوبناک بر جریان رودخانه کشکان حاکم است. همچنین در پژوهشی، مزیدی و همکاران (۱۳۹۵) روند تغییرات بارش روزانه در شیراز را مورد بررسی قرار دادند، نتایج پژوهش نشان داد روند بارش روزانه شیراز از ساختار برخالی پیروی نمی‌کند.

هدف از این پژوهش تعیین دینامیک تعادلی ساختار حاکم بر رفتار بارش بلندمدت ماهانه و سالانه ایستگاه همدید شیراز با به‌کارگیری منطق آشوبی می‌باشد.

## روش پژوهش

ایستگاه همدید شهر شیراز مرکز استان فارس با طول جغرافیایی ۵۲ درجه ۳۳ دقیقه خاوری و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه ۳۶ دقیقه شمالی و با میانگین ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. این شهر بر اساس واپسین سرشماری سال (۱۳۹۰) جمعیتی بالغ بر ۱۵۴۹۴۵۳ نفر به خود اختصاص داده است. همچنین از لحاظ گونه‌های آب و هوایی شهر شیراز دارای هفت گونه هوای از هم جدا شامل: گونه هوای بسیار سرد و نیمه مرطوب، با فراوانی رخداد ۵/۵ درصد؛ گونه هوای سرد و کم بارش، با فراوانی رخداد بیش از ۹ درصد؛ گونه هوای نیمه سرد و بارشی، که فراوانی رخداد این گونه هوا ۱۲/۴ درصد است؛ گونه هوای بسیار بارش‌مند، فراوانی رخداد این گونه هوا در میان گونه هواها کم است ۷/۶ درصد، اما با حاکمیت خود احتمال رخداد بارش به ۸۷ درصد می‌رسد که بیش‌ترین بارش ایستگاه همدید شیراز در زمان رخداد این گونه هوا است. گونه هوای معتدل و کم بارش، فراوانی رخداد این گونه هوا در طول سال به بیش از ۱۴/۱ درصد می‌رسد؛ گونه هوای گرم و نیمه‌خشک، این گونه هوا با فراوانی رخداد سالانه ۱۵/۳ درصد در رتبه‌ی دوم در مقایسه با دیگر گونه هواها قرار می‌گیرد. گونه هوای بسیار گرم، خشک و بادی، این گونه هوا با بیش‌ترین فراوانی رخداد ۳۵/۸ درصد برخوردار است (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۷).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش برای ایستگاه همدید، شهر شیراز مکان پژوهش برگزیده شده است. در ادامه داده‌های میزان بارش به‌کارگیری شده در این پژوهش در قالب زمانی ماهانه و سالانه در بازه زمانی ۶۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۱۴) از اداره کل

هوشناسی استان فارس دریافت شد. پس از بازسازی داده‌ها، با انجام پردازش بر روی آن‌ها در محیط نرم‌افزارهای آماری SPSS، EXCEL و MINITAB محاسبه‌های مربوطه انجام گرفت. همچنین نمودارهای خروجی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.2 و Surfer 10 تجزیه و تحلیل و ترسیم گردید.

منطق جبری محاسبه‌ها در این پژوهش بدین ترتیب است که در گام نخست بارش در بازه زمانی ماهانه به صورت (کمینه به بیشینه) در طول دوره آماری ۷۶۸ ماهه از صفر تا ۳۲۴ میلی‌متر و سالانه از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۴ در بازه زمانی ۶۴ ساله به ترتیب از ۹۶/۳ تا ۷۱۱/۱ میلی‌متر مرتب<sup>۱</sup> گردید، پس از آن ماتریس<sup>۲</sup> (آرایه) فراوانی رخداد و مقادیر مطلق بارش به ابعاد  $۲۶۹ \times ۲۶۹$  تشکیل شد، این ماتریس به صورت جبری به شرح زیر تعریف می‌گردد.

$$\begin{array}{cccccc} a1 & a2 & a3 & a4 & \dots & am + 1 \\ a2 & a3 & a4 & a5 & \dots & am + 2 \\ a3 & a4 & a5 & a6 & \dots & am + 3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ an & an & an & an & \dots & anm \end{array} \quad (۱) \text{ معادله}$$

در این ماتریس ستون مورد استفاده در محاسبه‌های آشوب بارش ستون آخر خواهد بود. این ستون داده‌های فرا سنج آب و هوایی مورد نظر را نشان می‌دهد که باید در یک ساختار انباشتگی<sup>۳</sup> بسط (سیمپلکسی)<sup>۴</sup> محاسبه گردد. در تحلیل‌های مثلثاتی<sup>۵</sup> معادله (۲) باید در نظر داشت که بنیان تفسیر داده‌ها بر اساس فرآیندهای مبنای سه می‌باشد؛ که در این ساختار ضوابط حاکم بر تعامل درون داده‌ها (x) و برون داده‌ها (y) معادله (۲) به طور بالقوه تعیین خواهد شد. پس از تعریف ضوابط باید ضابطه‌ای که بیش‌ترین حد همبستگی بین درون داد و برون داده‌ها را دارا می‌باشد، به عنوان ضابطه بالفعل برگزید.

$$\begin{array}{cccccc} am + 1 & operation & x1 & y1 & \dots & function \\ am + 2 & operation & x2 & y2 & \dots & function \\ am + 3 & operation & x3 & y3 & \dots & function \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ anm & operation & xn & yn & \dots & Conclusion \end{array} \quad (۲) \text{ معادله}$$

در معادله (۲) عملگرها، ساختار هم مرجع سازی<sup>۶</sup> جبری را به عهده دارند. این هم مرجع سازی چون بر اساس مختصات حد آستانه انجام می‌گیرد، از طریق ساختارهای غیرخطی می‌تواند محاسبه گردد، در نتیجه در تمام حالات همبستگی‌ها به طور کامل مثبت یا منفی خواهد بود. حد آستانه‌های مورد نیاز در هم مرجع نمودن جبری مذکور حد آستانه مثلثاتی (2Π) می‌باشد که با اعمال ستون دوم از ماتریس معادله (۲) در ساختار معادله (۳) محاسبه خواهد شد:

$$y - y_0 = a (x - x_0) \quad (۳) \text{ معادله}$$

نتایج حاصل از ستون دوم معادله (۲) برای نمونه درون داد در تابع مخروطی معادله (۴) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$y = \sqrt{m - x^2} \quad (۴) \text{ معادله}$$

<sup>1</sup> - Sort

<sup>2</sup> - Matrix

<sup>3</sup> - Cumulation

<sup>4</sup> - Simplex

<sup>5</sup> - trigonometry

<sup>6</sup> - Mathematical Reference (MR)

به‌طور خودکار تابع مذکور برد<sup>۱</sup> برون‌داده‌ها را تعیین خواهد نمود. همان‌گونه که مشخص است معادله (۴) دامنه<sup>۲</sup> عملیاتی هم مرجع شده تا  $2\Pi$  را نمی‌تواند پوشش دهد، چون معادله (۵) از سری توابع سهمی می‌باشد که معمولاً در عملگرهای مثلثاتی در پیرامون مختصات  $\Pi$  و  $2\Pi$  به ابهام می‌رسد و حد می‌پذیرد.

$$x^2 + y^2 - m = 0 \quad (۵) \text{ معادله}$$

در گام بعد جهت اعمال ساختار هندسی پس از هم مرجع نمودن کمیت بارش و فراوانی آن ساختار برداری داده‌ها به‌صورت یک چرخه مثلثاتی تعریف و ضابطه حاکم بر آن محاسبه شد. منطق فوق کاملاً منطقی کمپلکسی می‌باشد برای رفع این نقص پژوهشگر مجبور به اعمال راهکارهای مثلثاتی سیمپلکسی خواهد شد. به‌عبارت‌دیگر از ستون دوم ماتریس معادله ۲ (زیر عنوان داده‌های هم مرجع شده مثلثاتی) درون‌داده‌ها و برون‌داده‌ها (ستون‌های سوم و چهارم ماتریس معادله ۲) محاسبه خواهد شد. به سخن دیگر اگر عملگرهای ستون دوم برای گوشه‌های<sup>۳</sup> مختصات مثلثاتی یک، در نظر گرفته شود با یک تجزیه برداری، دامنه و برد تابع سیمپلکسی مورد نظر معین خواهد شد.

$$X = a \cos \theta \quad (۷) \text{ معادله} \quad Y = a \sin \theta \quad (۶) \text{ معادله}$$

در ادامه جهت تعیین تابع مورد نظر با اعمال ضوابط خطی بر روی داده‌های بلندمدت بارش ماهانه و سالانه دامنه درون‌داده‌ها و برد برون‌داده‌ها محاسبه گردید. در این راستا به دلیل اینکه اصولاً پدیده‌های طبیعی اکثراً از رابطه خطی پیروی نمی‌کنند و در صورت پیروی از همبستگی حداکثری برخوردار نخواهند بود، بنابراین سیمپلکسیون داده‌های آب و هوایی مذکور در ساختاری غیرخطی از همبستگی بیشتری برخوردار می‌باشند، بر همین اساس نخست به ضابطه یابی برخالی<sup>۴</sup> اقدام می‌شود، این ساختار با رعایت دوره گردش  $2k\Pi$  در ضابطه پولی نومیال<sup>۵</sup> (چندجمله‌ای) مثلثاتی با درجه دو در حالت کلاسیک خود نسبت به بردارهای  $x$  &  $y$  با همبستگی حداقل ۹۵ درصدی کاملاً معنی‌دار خواهد بود، که از اعمال ساختار نپرین بر روی دامنه و بردهای داده‌های هم مرجع شده بارش ماهانه و سالانه محاسبه شدند، نتیجه گرافیکی کلاسیک و بالفعل عملکرد نوسانی فرا سنج ماهانه و سالانه بارش روی نمودار (شکل ۲) مشخص می‌باشد.

<sup>1</sup> - Range

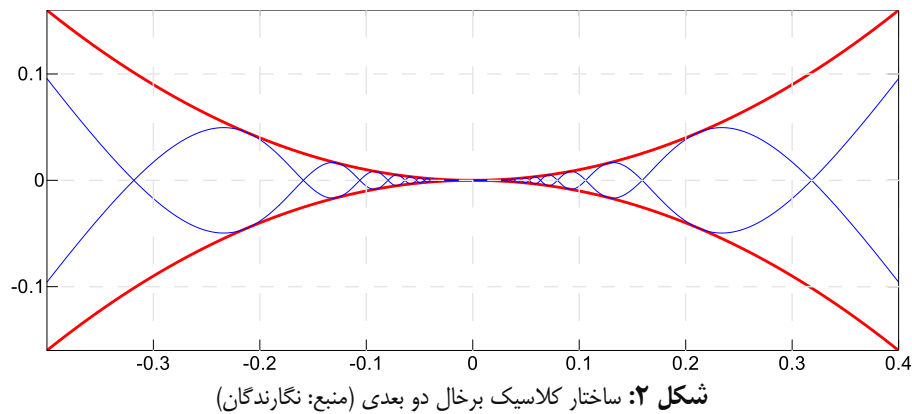
<sup>2</sup> - Domain

<sup>3</sup> -  $\theta$  angel

<sup>4</sup> - Fractal

<sup>5</sup> - Polynomial

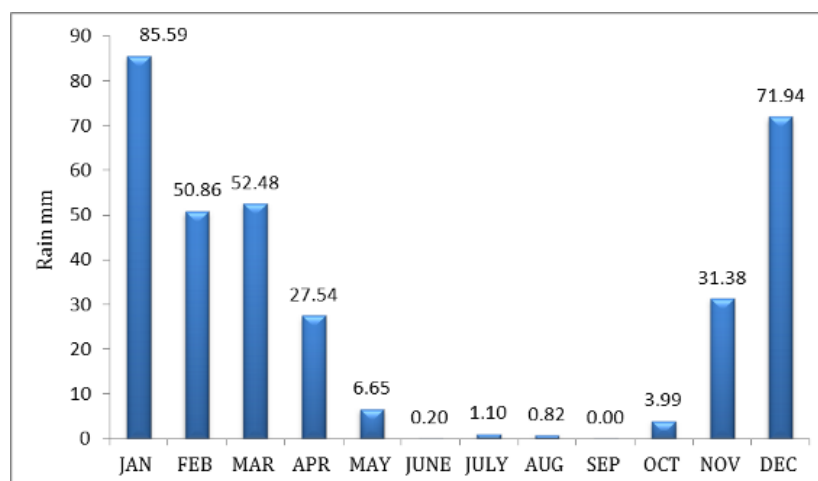




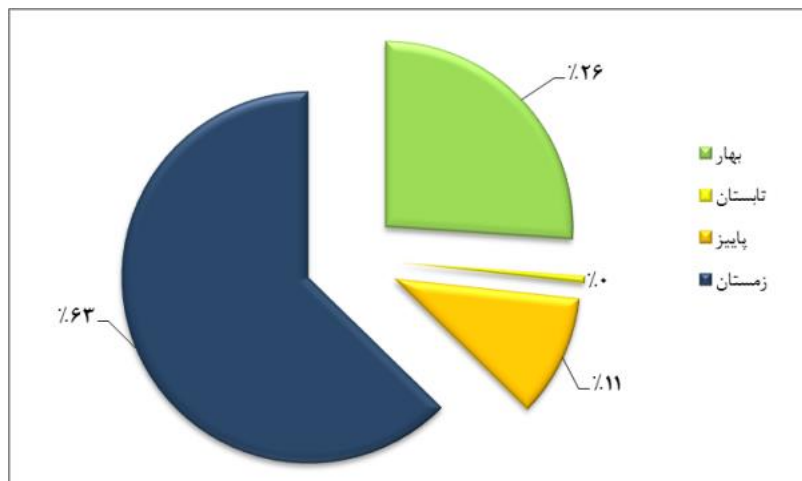
## بحث

### ویژگی‌های آماری بارش

میزان بارش ماهانه و سالانه رخ داده در ایستگاه همدید شیراز در (جدول ۱) نشان داده شده است. بر اساس این جدول بالاترین میزان بارش سالانه در سال ۱۹۵۴ با ۷۱۱/۱ میلی‌متر و کمترین میزان بارش در سال ۱۹۶۶ با ۹۶/۳ میلی‌متر رخ داده است، میانگین بارش سالانه نیز در طول دوره آماری (۱۹۵۱-۲۰۱۴) ۳۳۲/۵ میلی‌متر و انحراف معیار آن ۱۳۰/۴ میلی‌متر گزارش شده است. بالاترین میزان بارش ماهانه ثبت شده مربوط به ماه ژانویه در سال ۱۹۶۵ با ۳۲۴/۵ میلی‌متر و پس از آن در ماه دسامبر سال ۲۰۰۴ با ۳۰۵/۲ میلی‌متر می‌باشد. در این حال ماه ژانویه با میانگین بارشی ۸۵/۵۹ میلی‌متر پر بارش‌ترین و سپس ماه دسامبر با ۷۱/۹۴ میلی‌متر دومین ماه پر بارش در این ایستگاه است (شکل ۳). همچنین نحوه پراکنش فصلی بارش نیز در (شکل ۴) نمایش داده شده است. برابر این شکل فصل زمستان با ۶۳ درصد، بهار ۲۶ درصد، پاییز ۱۱ درصد و فصل تابستان با صفر درصد مجموع بارش فصلی را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴). همچنین میزان مطلق و فراوانی ماهانه بارش در (جدول ۲) نمایش داده شده است، با توجه به این جدول ۳۱۳ ماه فاقد بارش و بالاترین بسامد رخداد مربوط به بارش ۲ میلی‌متر با فراوانی رخداد ۱۳ بار می‌باشد.



شکل ۳: میزان پراکنده‌گی میانگین بارش ماهانه ایستگاه همدید شیراز (۱۹۵۱-۲۰۱۴) (منبع: نگارندگان)



شکل ۴: نحوه پراکنش بارش در فصول چهارگانه ایستگاه همدید شیراز (۱۹۵۱-۲۰۱۴) (منبع: نگارندگان)

### الف: قالب زمانی بارش ماهانه

به منظور شناخت ساختار و تحلیل دینامیک تغییرات بارش ماهانه ایستگاه همدید شیراز در گام نخست جهت انتخاب منطق حاکم بر روند نوسان‌های فرا سنج آب و هوایی بارش ماهانه با یک منطق شروع و در صورت نیاز به منطق‌های دیگر مراجعه می‌شود. 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 ماتریس وتری استفاده و نتایج محاسبه شده به صورت فراوانی‌های رخداد تجمعی صعودی مرتب شد، سپس با استفاده از رابطه (۵) نتایج حاصل در یک ساختار جبری مخروطی هم مرجع شدند. در ادامه به این دلیل که همبستگی تابع توانی<sup>۱</sup> بین درون داده‌ها (x) و برون داده‌ها (y) حاصله از رابطه (۲) سیمپلکسی ناشی از ماتریس وتری مقادیر مطلق بارش و فراوانی رخداد آن در ایستگاه شیراز کمتر از  $0/5 > 0/2$  و به صورت تابع  $Y = 0/5717x^{-906}$  تعریف می‌شود (جدول ۳)؛ در نتیجه این تابع از روند و ساختار آشوبی پیروی نمی‌نماید، بنابراین ناگزیر در ادامه پژوهش جهت بررسی ساختار و تحلیل دینامیک رفتار بارش از ساختار برخالی استفاده می‌گردد. با توجه به این که دلیل همبستگی بین درون داد و برون داد سیمپلکسی ناشی از ماتریس وتری در بالاترین حد خود در میان توابع محاسبه شده و با رعایت دوره گردش  $2k\pi$  در ضابطه پولی نومیال<sup>۲</sup> (چند جمله‌ای) مثلثاتی با درجه دو نسبت به بردارهای x & y با همبستگی بیش از  $0/5 > 0/6$  می‌باشد (جدول ۳) و (شکل ۵)، به همین جهت نخست حد آستانه‌های بیشینه و کمینه با اعمال ساختار نپرین بر روی دامنه و بردهای داده‌های هم مرجع شده بارش ماهانه محاسبه گردید و سپس با در نظر گرفتن ضابطه (جدول ۴) ساختار حاکم بر فرا سنج بارش در تابع برخالی محاسبه شد.

<sup>۱</sup> - Power

<sup>۲</sup> - Polynomial

جدول ۱: مشخصات آماری بارش ماهانه و سالانه ایستگاه همدید شیراز (۱۹۵۱-۲۰۱۴)

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
1951	67.7	97	65.5	4	52	0	0	5	0	0	0	94.3	385.5
1952	43.3	57.3	46.2	58.3	21	0	0	0	0	0	34	75.3	335.4
1953	8.8	91	76	23	0	0	0	0	0	1	50.3	167.3	417.4
1954	27	94	182	33	0	0	0	0	0	0	245	180.1	711.1
1955	35.5	3.5	74.8	16.5	2	0	0	0	0	0	0	245	377.3
1956	300	20	153.1	9	0	0	27.6	0	0	0	0	196.7	706.4
1957	150.3	60	30	40.5	45	0	0	0	0	0	236.5	104	666.3
1958	128.3	18.6	27	7	0	0	0	0	0	0	6.1	27	214
1959	122	46	16.6	6	5	0	0	0	0	0	17.4	5	218
1960	68.9	6.4	61	36.7	0	0	1	0	0	0	2	8	184
1961	68	65	98.1	53.9	0	0	0	0	0	0	48	30.6	363.6
1962	13.3	17.5	0	169.9	0	0	0	0	0	0	7	3.6	211.3
1963	3	68.7	34.5	10.6	12	0	0	0	0	0	28	66.3	223.1
1964	40	75	15.5	10	0	0	1	0	0	0	4	106	251.5
1965	324.5	30	2	26	0.3	0	0	0	0	3.3	0.4	11	397.5
1966	24.1	31.5	1.1	11.5	0	0	0	0	0	0.3	0	27.8	96.3
1967	76.4	89.6	7.7	42	6	0	0.1	0	0	0	138.3	35	395.1
1968	19.2	73.5	46.5	42	0.7	0	0	0	0	2	5.4	105.5	294.8
1969	147.4	17	37	88.4	23.2	0	0	2	0	27.4	32.3	13.9	388.6
1970	74	15	24.2	19	0	0	0	0	0	0	0	11	143.2
1971	40	42	0	34.2	0	0	0.4	0	0	0	12	78.4	207
1972	166.8	68.3	188.6	20.6	6.4	0	0	0	0	0	0	48.6	499.3
1973	81.6	20.3	31.6	8.5	0	0	18	0	0	0	2	21.4	183.4
1974	158.8	39	26	24.3	2	0	0	0	0	1.2	0	148.5	399.8
1975	73	20	28	61.6	38.6	0	2.4	0	0	0	6.1	85.8	315.5
1976	32.3	142.6	86.2	55	11.1	0	8	0	0	5.6	25	77.4	443.2
1977	69.5	7	60	31	2	0	0	0	0	73	0	43.6	286.1
1978	132.4	0	35.6	15	0.5	0	0	0	0	0	65.8	64.2	313.5
1979	133.4	15	70	0	15	6.2	0	0	0	0	12	94.4	346
1980	96	120.4	68.7	9.5	0.1	0	0	0	0	0	2	94.6	391.3
1981	85.9	40.9	55.6	13.7	11	0	0	0	0	0	4.6	30	241.7
1982	66.7	69.8	115.9	15.5	2.5	0	0	0	0	25.1	55.3	42.9	393.7
1983	59.2	36.6	62.2	19.5	2.2	0	0	0.1	0	0	0	12	191.8
1984	15.1	5.4	100.1	6.6	52.5	0	0	0	0	0	16.7	65.2	261.6
1985	123.8	28.2	14.9	0.8	0	0	0	0	0	0	9.6	105.7	283
1986	4.5	33.3	41.8	33.9	5.9	0	0	2	0	0	82.2	243.8	447.4
1987	9.1	19.2	99.5	11.6	0.6	0	0.2	0	0	19.5	0	33.4	193.1
1988	135.7	112.6	49.5	44.5	0	0	0	0	0	0	0	89.7	432
1989	15.8	24.6	39.6	24.2	0	0	0	0	0	0	37.3	89	230.5
1990	104.6	114.9	10.3	20	0	0	0	0	0	12.7	17.8	17.8	280.3
1991	219.9	45	66.3	7.1	0	0	0	0	0	7.9	0	75	421.2
1992	109.3	31	47.5	13.3	17.4	0	0	4	0.1	0	2.3	243.5	468.4
1993	125.9	98.5	88.7	17.7	0.5	0	0	0.2	0	1.7	8	0.1	341.3
1994	20.7	7.6	110.1	11.7	29	0	0	0	0.1	2.2	108.8	80.7	370.9
1995	15.1	161.5	42.4	60.8	3.3	3	0.1	0	0	28	4	174.8	493
1996	145.3	82	123	28.8	1.2	2.2	0.6	22.5	0	2.7	2.2	12.4	422.9
1997	46.5	5.7	97.2	38.8	3.4	0	0	0	0	4.9	30.5	97.9	324.9
1998	100.3	97.6	95.7	23.2	0.7	0.4	0	0	0	0.1	0	0	318
1999	109.2	144.2	54.4	4.7	0	0	0	0	0	0	0.4	12.4	325.3
2000	167.1	10.9	2.3	0.3	0	0	0	0	0	11.1	72.2	94.1	358
2001	20.9	29.8	9	0	2	0.2	0	0	0	0	6.4	141.6	209.9
2002	95.6	60.2	31.8	52.9	0.1	0	0	0	0	0	2	30.5	273.1
2003	95.6	79.3	101.9	19	0	0	0	0	0	0	0	60.7	356.5
2004	234.8	16	5.5	30	0.7	0	1.1	0	0	0	28.6	305.2	621.9
2005	108.1	36.5	31.5	2.3	0.1	0	4	0	0	0	111.5	32.5	326.5
2006	62.3	55.5	20.9	47	0	0	0	10.2	0	0	4.9	120.4	321.2
2007	34.6	46	84	44.1	2.1	0	0	0	0	0	0	31	241.8
2008	83.2	4.9	0	0.3	0	0	0	0	0	21.2	16	0.4	126
2009	33.3	24.7	46.3	23.5	0	0	0	0	0	4.7	83.2	53.7	269.4
2010	11.8	45.7	8.1	25.3	2.7	0.5	0	3	0.1	0	0	0.2	97.4
2011	91.2	67	46.3	15.3	0	0	0	0	0	0	66.8	0	286.6
2012	70.8	112.9	32.8	11.2	2.2	0	4	0	0	10.2	98.5	82.2	424.8
2013	34.1	25.7	19	193.6	41.4	0	0	3.3	0	0	88.5	5	310.6
2014	96.4	30.2	11.4	34.3	1.1	0	2	0	0	2.3	75.4	0	253.1

منبع: اداره کل هواشناسی استان فارس

جدول ۲: میزان مطلق و فراوانی ماهانه بارش ایستگاه همدید شیراز (۱۹۵۱-۲۰۱۴)

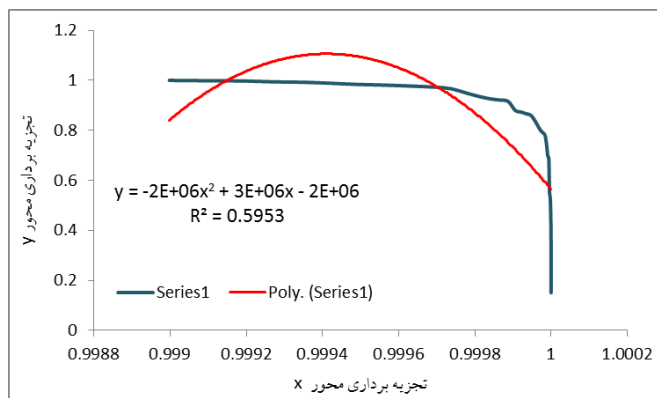
Rain	Frequency	Rain	Frequency	Rain	Frequency	Rain	Frequency	Rain	Frequency	Rain	Frequency
0	313	10	1	24.6	1	41.8	1	68.9	1	101.9	1
0.1	11	10.2	2	24.7	1	42	3	69.5	1	104	1
0.2	4	10.3	1	25	1	42.4	1	69.8	1	104.6	1
0.3	4	10.6	1	25.1	1	42.9	1	70	1	105.5	1
0.4	5	10.9	1	25.3	1	43.3	1	70.8	1	105.7	1
0.5	3	11	3	25.7	1	43.6	1	72.2	1	106	1
0.6	2	11.1	2	26	2	44.1	1	73	2	108.1	1
0.7	3	11.2	1	27	3	44.5	1	73.5	1	108.8	1
0.8	1	11.4	1	27.4	1	45	2	74	1	109.2	1
1	3	11.5	1	27.6	1	45.7	1	74.8	1	109.3	1
1.1	3	11.6	1	27.8	1	46	2	75	2	110.1	1
1.2	2	11.7	1	28	3	46.2	1	75.3	1	111.5	1
1.7	1	11.8	1	28.2	1	46.3	2	75.4	1	112.6	1
2	13	12	4	28.6	1	46.5	2	76	1	112.9	1
2.1	1	12.4	2	28.8	1	47	1	76.4	1	114.9	1
2.2	5	12.7	1	29	1	47.5	1	77.4	1	115.9	1
2.3	4	13.3	2	29.8	1	48	1	78.4	1	120.4	2
2.4	1	13.7	1	30	4	48.6	1	79.3	1	122	1
2.5	1	13.9	1	30.2	1	49.5	1	80.7	1	123	1
2.7	2	14.9	1	30.5	2	50.3	1	81.6	1	123.8	1
3	3	15	4	30.6	1	52	1	82	1	125.9	1
3.3	3	15.1	2	31	3	52.5	1	82.2	2	128.3	1
3.4	1	15.3	1	31.5	2	52.9	1	83.2	2	130.1	1
3.5	1	15.5	2	31.6	1	53.7	1	84	1	132.4	1
3.6	1	15.8	1	31.8	1	53.9	1	85.8	1	133.4	1
4	6	16	2	32.3	2	54.4	1	85.9	1	135.7	1
4.5	1	16.5	1	32.5	1	55	1	86.2	1	138.3	1
4.6	1	16.6	1	32.8	1	55.3	1	88.4	1	141.6	1
4.7	2	16.7	1	33	1	55.5	1	88.5	1	142.6	1
4.9	3	17	1	33.3	2	55.6	1	88.7	1	144.2	1
5	4	17.4	2	33.4	1	57.3	1	89	1	145.3	1
5.4	2	17.5	1	33.9	1	58.3	1	89.6	1	147.4	1
5.5	1	17.7	1	34	1	59.2	1	89.7	1	148.5	1
5.6	1	17.8	1	34.1	1	60	2	91	1	150.3	1
5.7	1	18	1	34.2	1	60.2	1	91.2	1	153.1	1
5.9	1	18.6	1	34.3	1	60.7	1	93.6	1	158.8	1
6	2	19	3	34.5	1	60.8	1	94	1	161.5	1
6.1	2	19.2	2	34.6	1	61	1	94.1	1	166.8	1
6.2	1	19.5	2	35	1	61.6	1	94.3	1	167.1	1
6.4	3	20	3	35.5	1	62.2	1	94.4	1	167.3	1
6.6	1	20.3	1	35.6	1	62.3	1	94.6	1	169.9	1
7	3	20.6	1	36.5	1	64.2	1	95.6	2	174.8	1
7.1	1	20.7	1	36.6	1	65	1	95.7	1	182	1
7.6	1	20.9	2	36.7	1	65.2	1	96	1	188.6	1
7.7	1	21	1	37	1	65.5	1	96.4	1	196.7	1
7.9	1	21.2	1	37.3	1	65.8	1	97	1	219.9	1
8	3	21.4	1	38.6	1	66.3	2	97.2	1	234.8	1
8.1	1	22.5	1	38.8	1	66.7	1	97.6	1	236.5	1
8.5	1	23	1	39	1	66.8	1	97.9	1	243.5	1
8.8	1	23.2	2	39.6	1	67	1	98.1	1	243.8	1
9	2	23.5	1	40	2	67.7	1	98.5	2	245	2
9.1	1	24.1	1	40.5	1	68	1	99.5	1	300	1
9.5	1	24.2	2	40.9	1	68.3	1	100.1	1	305.2	1
9.6	1	24.3	1	41.4	1	68.7	2	100.3	1	324.5	1

منبع: اداره کل هواشناسی استان فارس

جدول ۳: ضوابط توابع بردارهای محورهای X و Y بارش ماهانه شیراز

R	ضریب تعیین R <sup>2</sup>	ضابطه تابع	نوع تابع
۰/۶۳۶۱	۰/۴۰۴۷	$Y = -583/76x + 584/39$	خطی (linear)
۰/۵۳۵۶	۰/۲۸۶۹	$Y = 2E+308e^{-906/5x}$	نمایی (exponential)
۰/۶۳۶	۰/۴۰۴۶	$Y = -583/5\ln(x) + 0/633$	لگاریتمی (logarithmic)
۰/۷۷۱۵	۰/۵۹۵۳	$Y = 2E+06x^2+3E+06x-2E+06$	دو جمله‌ای (polynomial)
۰/۵۳۵۶	۰/۲۸۶۹	$Y = 0/5717x^{-906}$	توانی (power)

منبع: نگارندگان



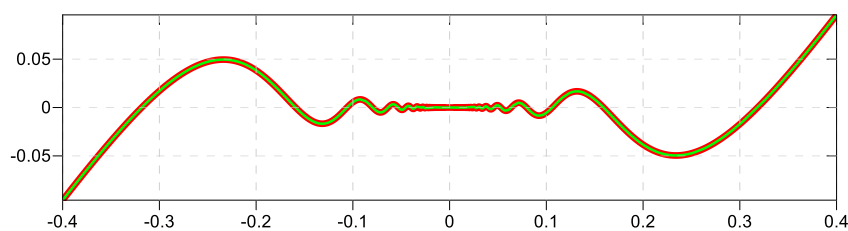
شکل ۵: نمودار رگرسیون تجزیه برداری محور X & Y بارش ماهانه شیراز (منبع: نگارندگان)

جدول ۴: آستانه‌های بارش ماهانه و سالانه و ضوابط خطی حاکم بر آن در ایستگاه همدید شیراز

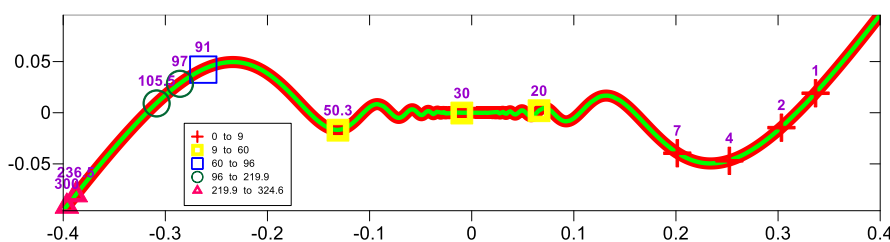
بارش سالانه	بارش ماهانه	فرا سنج
۷۱۱/۱	۷۶۸	بیشینه
۹۶/۳	۳۱۳	کمینه
$Y = (-0.000014914 \times X) + 0.15943629$	$Y = (-0.0017582 \times X) + 0.95032967$	ضابطه

منبع: نگارندگان

با هم مرجع نمودن داده‌های ماهانه فرا سنج بارش ایستگاه همدید شیراز با ساختار کلاسیک برخال با استناد به ضابطه محاسبه شده (ردیف ۴ در جدول ۴)، نتایج حاصله نشان داد که دقیقاً نوسانات ماهانه فرا سنج بارش ایستگاه طی دوره آماری از ساختار کاملاً برخالی پیروی می‌نماید (شکل ۶). در این شکل ساختار واقعی با رنگ سبز بر روی ساختار کلاسیک با رنگ قرمز ترانما<sup>۱</sup> شده است. همچنین مقادیر بارش به صورت نمونه در (شکل ۷) بر روی منحنی برخال مشخص شده است.



شکل ۶: ساختار کلاسیک و واقعی برخالی ماهانه بارش (منبع: نگارندگان)



شکل ۷: همپوشانی ساختار کلاسیک و واقعی برخالی، و مقادیر مطلق ماهانه بارش (منبع: نگارندگان)

<sup>1</sup> - Transparent

## الف: قالب زمانی بارش سالانه

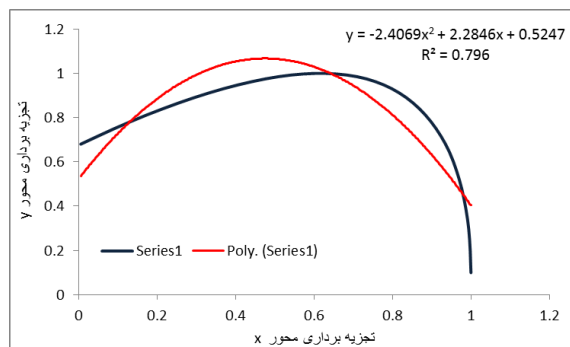
همان گونه که نورخان تر بیان شد در قالب زمانی سالانه نیز به منظور شناخت ساختار و تحلیل دینامیک تغییرات بارش سالانه ایستگاه همدید شیراز از توابع مثلثاتی بهره گرفته شد. به دلیل اینکه همبستگی تابع توانی بین درون دادها (x) و برون دادها (y) حاصله از رابطه (۲) سیمپلکسی ناشی از ماتریس وتری مقادیر مطلق بارش و فراوانی رخداد آن در ایستگاه شیراز کمتر از ۰/۵ ( $0/44 > 0/5$ ) و به صورت تابع  $Y = 0/6116x^{-105}$  تعریف می شود (جدول ۵)؛ در نتیجه این تابع نیز از روند و ساختار آشوبی پیروی نمی کند، بنابراین در قالب زمانی سالانه از ساختار و منطق برخالی جهت بررسی تحلیل دینامیک رفتار بارش سالانه استفاده گردید. با توجه به اینکه بالاترین حد همبستگی بین درون داد و برون داد سیمپلکسی ناشی از ماتریس وتری ضابطه چند جمله ای مثلثاتی با درجه دو نسبت به بردارهای x & y با همبستگی بیش از ۰/۵ (۰/۸) می باشد (جدول ۵) و (شکل ۸)؛ به همین جهت، نخست حد آستانه های بیشینه و کمینه با اعمال ساختار نپرین بر روی دامنه و برد داده های هم مرجع شد سپس با در نظر گرفتن ضابطه (جدول ۵) ساختار حاکم، فرا سنج بارش سالانه در تابع برخالی محاسبه شده است.

در ادامه با هم مرجع کردن داده های سالانه فرا سنج بارش ایستگاه شیراز با ساختار کلاسیک برخالی با استناد به ضابطه محاسبه شده (ردیف ۴ در جدول ۴)، نتایج حاصله نشان داد که دقیقاً نوسان های ماهانه فرا سنج بارش ایستگاه طی دوره آماری از ساختار کاملاً برخالی پیروی می نماید (شکل ۹). در این شکل ساختار واقعی بارنگ سبز بر روی ساختار کلاسیک بارنگ قرمز ترانما شده است. همچنین مقادیر بارش سالانه به صورت نمونه در (شکل ۱۰) بر روی منحنی برخالی مشخص شده است.

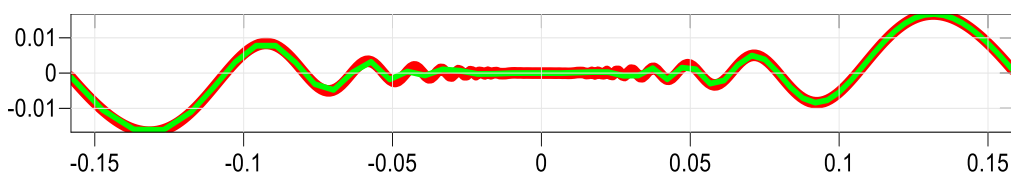
جدول ۵: ضوابط توابع بردارهای محوره های X &amp; Y بارش سالانه شیراز

نوع تابع	ضابطه تابع	ضریب تعیین R <sup>2</sup>	R
خطی (linear)	$Y = -0/4161x + 1/0182$	۰/۲۴۱۹	۰/۴۹۱۸
نمایی (exponential)	$Y = 1/1841e^{-872x}$	۰/۲۲۹	۰/۴۷۸۵
لگاریتمی (logarithmic)	$Y = -0/039\ln(x) + 0/7109$	۰/۰۲۷۷	۰/۱۶۶۴
دوجمله ای (polynomial)	$Y = 2/4069x^2 + 2/2846x - 0/5247$	۰/۷۹۶	۰/۸۹۲۱
توانی (power)	$Y = 0/6116x^{-105}$	۰/۰۴۴۵	۰/۲۱۰۹

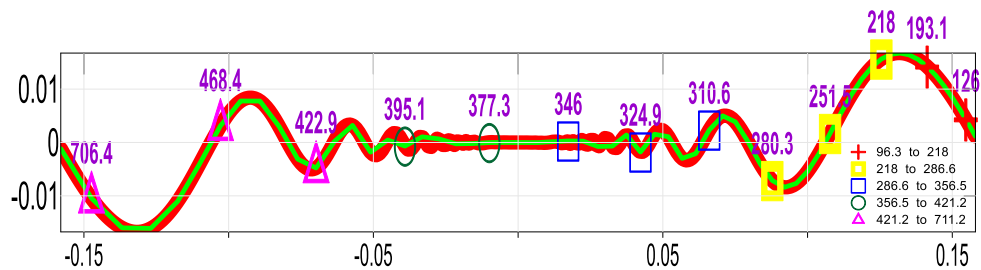
منبع: نگارندگان



شکل ۸: نمودار رگرسیون تجزیه برداری محور X &amp; Y بارش سالانه شیراز (منبع: نگارندگان)



شکل ۹: ساختار کلاسیک و واقعی برخالی سالانه بارش (منبع: نگارندگان)



شکل ۱۰: همپوشانی ساختار کلاسیک و واقعی برخالی، و مقادیر مطلق سالانه بارش (منبع: نگارندگان)

## نتیجه گیری

در این پژوهش، مقادیر بارش ماهانه و سالانه ایستگاه همدید شیراز در بازه زمانی ۶۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۱۴) جهت شناخت رفتار آشوبناک و ساختارهای حاکم بر این فرا سنج در قالب‌های زمانی ماهانه و سالانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس یافته‌های این پژوهش ساختار بارش در ایستگاه همدید شیراز، گواه عملکرد جبری روند دینامیکی این دو متغیر از نا تعادلی به طرف عدم تعادل می‌باشد. با توجه به اینکه، هدف اصلی در این پژوهش تعیین مختصات تعادلی بارش ایستگاه همدید شیراز بوده است، بدیهی است بر اساس نتایج این پژوهش ساختار برخالی یا آشوبی بارش به هیچ‌عنوان با پایداری بارش بر روی ایستگاه، نظام‌مندی ژئومتریک نخواهد داشت.

برخلاف روند مطالعاتی معمول مرسوم است از توابع سیمپلکسی و کمپلکسی برخال و آشوب در پیش‌یابی و پیش-بینی‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت استفاده می‌شود که این روند از ضوابط منطقی پیروی نمی‌نماید، باید در نظر داشت با قیاس جبری محاسبه‌ها انجام شده روی داده‌های بارش ماهانه و سالانه شیراز خروجی کمپلکسی مثلثاتی، بیانگر رفتار آشوبناک کمیت مورد مطالعه می‌باشد، درحالی‌که بادیاید استقرایی مقاطع مختلف KPI رادیان متغیر مورد مطالعه در این پژوهش رفتاری برخالی را از خود نشان می‌دهد، به این معنی که در ضابطه یابی بر روی دینامیک مقاطع مختلف کمیت بارش ماهانه و سالانه ایستگاه معلوم شد در بازه اول چرخه مثلثاتی روند بارشی ماهانه و سالانه ایستگاه از حالت نا تعادلی میل به عدم تعادل دارد. به عبارت دیگر منطق حاکم بر ساختار ماهانه و سالانه فرا سنج بارش در شیراز از ساختار آشوبی به سمت ساختار برخالی یا به تعبیری از حالت نا تعادلی به عدم تعادل در حال گذار است.

در تبیین روندهای مذکور حاکم بر بارش شیراز باید به مطالعات روی عوامل ورودی به جو ناحیه اعم از آلاینده‌های گازی و ریز گردی در مقیاس خرد و کلان اقلیم و همبستگی آن با روند آشوبی و برخالی کمیت مورد مطالعه نیز توجه گردد و سپس از قیاس نتایج حاصل، توابع ساختاری حاکم بر روند تغییرات و نوسانات شناسایی شود. به نظر می‌رسد با

استناد به روندهای محاسبه شده در این پژوهش منطقی تر است جهت پیش‌یابی‌های موردنیاز، علاوه بر استفاده از داده‌های موجود ایستگاه از داده‌های کلاسیک آشوبی و برخالی نیز، پایه و اساس محاسبه‌ها، مد نظر قرار گیرد و با توجه به روند حاکم بر هر دو ساختار مذکور به صحت پیش‌یابی‌ها اطمینان بیشتری حاصل شود.

## منابع

- ۱- اعلمی، محمدتقی و لیلا ملکانی (۱۳۹۱): بازسازی فضای حالت و بعد فرکتالی جریان رودخانه با استفاده از زمان تأخیر و بعد محاط، نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، سال ۴۳، شماره ۱، صص ۱۵-۲۱.
- ۲- 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 ۳۳، صص ۱۹۷-۲۱۴.
- ۳- امیرخانی، خاطره، ذونعمت کرمانی، محمد و مجید رحیم‌پور (۱۳۹۲): بررسی آشوبناکی دبی جریان رودخانه قره‌سو کرمانشاه، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری، تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز.
- ۴- 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.
- ۵- انیس حسینی، مسعود و محمد ذاکرمشفق (۱۳۹۴): مقایسه مدل‌های محلی آشوبناک مبتنی بر فضای فاز در پیش‌بینی جریان رودخانه، فصل‌نامه مهندسی عمران مدرس، سال پانزدهم، شماره ۳، صص ۱۳-۲۴.
- ۶- جانی، رسول، پناهی، علی و فرهاد علیزاده افشار (۱۳۹۲): تحلیل بارش ماهانه بندرانزلی با استفاده از نظریه آشوب، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری، تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز.
- ۷- جباری قره‌باغ، ثمین، رضایی، حسین و بایرام علی‌محمد نژاد (۱۳۹۳): بررسی وجود آشوب در جریان روزانه‌ی رودخانه‌ی نازلو چای، همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی، همدان، شرکت علم و صنعت طلوع فرزین.
- ۸- حاتمی، بنفشه، ذونعمت کرمانی، محمد، احمدی، محمدمهدی و بهرام بختیاری (۱۳۹۳): بررسی تأثیر حذف نویز بر رفتاری سری زمانی دبی رودخانه با استفاده از نظریه آشوب مطالعه موردی: رودخانه بافت، کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و گردشگری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها.
- ۹- حاجی کریمی، بابک (۱۳۸۹): نظریه آشوب و کاربرد آن در تصمیم‌گیری‌های سازمانی، فصلنامه علوم رفتاری، دوره ۲، شماره ۳، صص ۳۱-۴۶.
- ۱۰- حسن‌زاده، یوسف، اعلمی، محمدتقی، فرزین، سعید، شیخ‌الاسلامی، سید رضی و المیرا حسن‌زاده (۱۳۹۱): بررسی ماهیت آشوبناکی نوسانات روزانه تراز آب دریاچه ارومیه، نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، سال چهل و دوم، شماره ۱ (پیاپی ۶۶)، صص ۹-۱۷.
- ۱۱- رامشت، محمدحسین (۱۳۸۲): نظریه کیاس در ژئومورفولوژی، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱، صص ۱۳-۳۶.
- ۱۲- رامشت، محمدحسین و منوچهر توانگر (۱۳۸۱): مفهوم تعادل در دیدگاه‌های فلسفی ژئومورفولوژی، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۵ و ۶۶، صص ۷۹-۹۴.
- ۱۳- رامشت، محمدحسین، عبدالعلی، کمانه و صمد فتوحی (۱۳۸۶): معرفت‌شناسی و مدل‌سازی در ژئومورفولوژی، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۹، شماره ۶۰، صص ۳۱-۴۸.
- ۱۴- رسولی، علی‌اکبر، جلالی، طاهره، سرافروزه، فاطمه و مرضیه اسمعیل‌پور (۱۳۹۴): بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های نیشان و پیش‌بینی آن در استان آذربایجان شرقی، جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۱، صص ۱۷۱-۱۹۱.



- ۱۵- طالب بیدختی، ناصر، عابدینی، محمدجواد و محمود رضا شقایقانی (۱۳۸۵): بررسی وجود آشوب در جریان رودخانه‌ای در مقیاس‌های زمانی مختلف، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، سازمان آب و برق خوزستان، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۱۶- عزیزی، قاسم (۱۳۷۹): برآورد بارش مؤثر در رابطه با کشت گندم دیم (مورد: دشت خرم‌آباد)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۹، صص ۱۱۵-۱۲۳.
- ۱۷- عساکره، حسین، موحدی، سعید، سبزی پرور، علی‌اکبر، مسعودیان، ابوالفضل و زهره مریانجی (۱۳۹۳): اقلیم‌شناسی بارش ایران با استفاده از تحلیل هم‌سازها، تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره ۴، صص ۱۵-۲۶.
- ۱۸- عطایی، هوشمند (۱۳۸۷): شناسایی و تجزیه و تحلیل الگوهای تراز میانی جو در سال‌های پربارش ایران، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۰، صص ۱۹-۳۸.
- ۱۹- علمی زاده، هیوا و سیاوش شایان (۱۳۹۳): نظریه آشوب در ژئومورفولوژی جریانی (مطالعه موردی تغییرات بستر رود کل، هرمزگان)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۵، شماره ۳، صص ۲۱۷-۲۳۰.
- ۲۰- فرزین، سعید، شیخ‌الاسلامی، سید رضی 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.
- ۲۱- قهری، عباس، قربانی، محمدعلی، دل‌افروز، هادی و لیلیا ملکانی (۱۳۹۱): ارزیابی جریان رودخانه با استفاده از نظریه آشوب، مجله پژوهش آب ایران، سال ششم، شماره دهم، صص ۱۱۷-۱۲۶.
- ۲۲- قربانی، محمدعلی، اعلمی، محمدتقی، یوسفی، پیمان، اسدی، حکیمه و صبا زینالی (۱۳۹۰): کارایی نظریه آشوب در پیش‌بینی میزان رسوبات معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه ليقوان)، نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، سال چهل و یکم، شماره ۱ (پیاپی ۶۴)، صص ۵۹-۶۶.
- ۲۳- کمانه، عبدالعلی، قادری، حیدر و شهیده دهقان (۱۳۹۴): بازخورد اقلیم و ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی توسعه شهری (مطالعه موردی: کلان‌شهر شیراز)، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال پنجم، شماره ۱۹، صص ۱۸۷-۱۹۸.
- ۲۴- لطف‌اللهی یقین، محمدعلی، لشته‌نشانی، میر احمد، قربانی، محمدعلی و مرتضی بیک لریان (۱۳۹۲): مدل‌سازی و پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص دریای خزر با نظریه آشوب، مهندسی عمران و محیط‌زیست، سال ۴۵، شماره ۱، صص ۹۷-۱۰۵.
- ۲۵- محمدی، بختیار، قلی زاده، محمدحسین، شریفه زارعی (۱۳۹۳): شناخت الگوهای همید بارش‌های یک‌روزه در استان کردستان، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال چهاردهم، شماره ۳۵، صص ۷-۲۷.
- ۲۶- مرادی زاده کرمانی، فرنوش، قربانی، محمدعلی، دین‌پژوه، یعقوب و داود فرسادی‌زاده (۱۳۹۱): مدل تخمین جریان رودخانه بر اساس بازسازی فضای حالت آشوبی، دانش آب‌و خاک، دوره ۲۲، شماره ۴، صص ۱-۱۶.
- ۲۷- مزیدی، احمد، کمانه، عبدالعلی، مظفری، غلامعلی و مهدی نارنگی فرد (۱۳۹۵): تغییرات بارش روزانه با استناد به تحلیل‌های آشوبی در شیراز، فصل‌نامه جغرافیا، سال چهاردهم، شماره ۵۰، صص ۱۴۷-۱۶۹.
- ۲۸- مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۸۸): نواحی بارشی ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، صص ۷۹-۹۱.
- ۲۹- مسعودیان، ابوالفضل، صفر پور، فرشاد، هاشمی نسب، سادات، پنجه کوبی، پرویز، حاتمی بهمن بیگلو، خداکرم، حیدری، مهران، کیخسروی کیانی، محمد، زهرایی، اکبر (۱۳۹۱): شناسایی گونه‌های هواهای ایران، طرح پژوهشی دانشگاه اصفهان، صص ۱-۱۸۵.
- ۳۰- نعمتی، سمیرا و لیلیا نقی پور (۱۳۹۲): مدل‌سازی دبی جریان رودخانه کرج به‌وسیله بازسازی فضای حالت آشوبی، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی.

- 31- Baas, A. C. (2002). Chaos, Fractals and Self-Organization In Coastal Geomorphology: Simulating Dune Landscapes In Vegetated Environments. *Geomorphology*, 48(1), 309-328.
- 32- De Domenico, M., & Ghorbani, M. A. (2011). Chaos and Scaling In Daily River Flow. *ArXiv Preprint arXiv: 1002.0076*.
- 33- De Domenico, M., Ghorbani, M. A., Makarynsky, O., Makarynska, D., & Asadi, H. (2013). Chaos and Reproduction In Sea Level. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 3687-3697.
- 34- 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.
- 35- Khan, S., Ganguly, A. R., & Saigal, S. (2005). Detection and Predictive Modeling of Chaos In Finite Hydrological Time Series. *Nonlinear Processes In Geophysics*, 12(1), 41-53.
- 36- Khatibi, R., Ghorbani, M. A., Aalami, M. T., Kocak, K., Makarynsky, O., Makarynska, D., & Aalinezhad, M. (2011). Dynamics of Hourly Sea Level At Hillarys Boat Harbour, Western Australia: a Chaos Theory Perspective. *Ocean Dynamics*, 61(11), 1797-1807.
- 37- 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.
- 38- KOÇAK, K., BALI, A., & BEKTAŞOĞLU, B. (2008). Prediction of Monthly Flows By Using Chaotic Approach. In *International Congress On River Basin Management* (pp. 22-24).
- 39- Schertzer, D., Tchiginskaya, Y., Lovejoy, S., Hubert, P., Bendjoudi, H., and Larchevque, M. (2002). Which Chaos In The Rainfall-Runoff Process? *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 47(1), 139-149.
- 40- 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.
- 41- Sivakumar, B., Berndtsson, R., Olsson, J., & Jinno, K. (2002). Reply To "Which Chaos In The Rainfall-Runoff Process?" *Hydrological Sciences Journal*, 47(1), 149-158.
- 42- Solomatine, D. P., Velickov, S., & Wust, J. C. (2001). Predicting Water Levels and Currents In The North Sea Using Chaos Theory And Neural Networks. In *Proceedings of The Congress-International ASSOCIATION For Hydraulic Research* (pp. 353-359).
- 43- Zounemat - Kermani, M., & Kisi, O. (2015). Time Series Analysis on Marine Wind-Wave Characteristics Using Chaos Theory. *Ocean Engineering*, 100, 46-53.