

## تحلیل زمانی و مکانی تغییرات بارش ماهانه در استان گلستان به کمک بُعد فرکتالی

رئوف مصطفی زاده<sup>۱\*</sup>، محسن ذبیحی<sup>۲</sup> و مریم ادهمی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی و <sup>۲،۳</sup> دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۳

### چکیده

ویژگی خودتشابهی در متغیرهای اقلیمی، امکان استفاده از بُعد فرکتالی و تحلیل تغییرات زمانی و مکانی آن را فراهم می‌نماید. بر این اساس استفاده از هندسه فرکتالی در پیش‌بینی رفتار بسیاری از فرایندهای طبیعی از جمله بارندگی در مناطق مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در همین راستا هدف پژوهش حاضر، تعیین و محاسبه بُعد فرکتالی وقوع دوره‌های خشک و مرطوب، تفسیر خصوصیات دوره‌های خشک و مرطوب و بررسی تغییرات مکانی آن در ۴۰ ایستگاه باران‌سنجی استان گلستان است. بدین منظور از روش شمارش باکس با دست‌کم یک تکرار در داده‌ها و تعداد وقوع ماه‌های پرباران یا کم‌باران در دوره‌های یک تا نه ماهه و محاسبه بُعد فرکتالی استفاده شده است. سپس از روش رگرسیون برای محاسبه بُعد فرکتال در دوره‌های پرباران و کم‌باران استفاده شد و در ادامه درصد ماه‌های پرباران و کم‌باران طی دوره آماری و نیز شدت و مدت وقوع دوره‌های پرباران و کم‌باران محاسبه و به‌صورت مکانی ارائه شد. بر اساس نتایج، تغییرات درصد وقوع ماه‌های دوره پرباران و کم‌باران در یک دامنه ۱۱ درصدی می‌باشد. بر اساس نتایج در ایستگاه‌های مورد مطالعه با افزایش مقیاس زمانی از تعداد ماه‌های متوالی خشک و مرطوب کاسته شده است. نتایج محاسبه بُعد فرکتالی بارش نشان داد که در منطقه مطالعاتی دوره‌های خشک دارای شدت وقوع کمتری نسبت به دوره‌های مرطوب می‌باشد. با استفاده از مقادیر بُعد خصوصیات رژیم بارندگی ایستگاه‌ها تعیین شد. همچنین، بر اساس نتایج، شدت دوره‌های پرباران در نواحی مرکزی و شرقی بیشتر بوده ولی مدت آن در قسمت‌های غربی استان تداوم بیشتری دارد.

**واژه‌های کلیدی:** خودتشابهی، دوره خشک و مرطوب، فرکتال، متغیرهای اقلیمی، مقیاس زمانی

### مقدمه

و مکانی شده است (Ghavidel Rahimi, ۲۰۰۵).  
الگوهای فصلی متغیرهای هیدرواقليمی می‌تواند  
منظم، تکراری و نامنظم باشد و حتی می‌تواند  
به‌صورت تناوبی بین رژیم‌های متفاوت در یک سال  
تغییر نماید (Krasovskaia و همکاران، ۱۹۹۹). با

اخیرا مسائل ناشی از تغییرات بارش، به‌ویژه  
مشکلات ناشی از سیل و خشکسالی و نیز اثرات  
زیست‌محیطی کاهش بارش موجب افزایش اهمیت و  
توجه به مطالعات بارش در مقیاس‌های مختلف زمانی

\* مسئول مکاتبات: raoofofmostafazadeh@yahoo.com

و De Lima, ۲۰۰۹). Tessier و همکاران (۱۹۹۶)، در پژوهشی بُعد چندفرکتالی سری‌های زمانی بارندگی و رواناب در ۳۰ حوزه آبخیز فرانسه با مساحت ۴۰ تا ۲۰۰ کیلومتر مربع در مقیاس‌های یک روز تا ۳۰ سال برآورد کردند. آن‌ها انواع و گسترش رژیم‌های مقیاس‌گذاری را کمی نمودند و نتیجه گرفتند که رژیم‌های با فراوانی بالا نیازمند تبدیل‌های غیرخطی است. بر اساس داده‌های میانگین رواناب ماهانه اسکاندیناوی در یک دوره زمانی طولانی‌مدت، مشخص شده است که انواع رژیم‌های هیدرولوژیک جریان متأثر از بارندگی، از نظر بُعد فرکتالی متفاوت هستند. همچنین، بُعد فرکتالی هر رژیم جریان منحصر بفرد بوده و رژیم جریان منظم و پایدار، دارای بُعد فرکتالی کوچک‌تری است (Krasovskaia و همکاران، ۲۰۰۲). Hubert و همکاران (۱۹۹۳) طبق تئوری ساختار چندفرکتالی، بیشینه بارندگی تجمعی نقطه‌ای ممکن را به عنوان تابعی از مدت و اندازه نمونه بیان کردند و اظهار داشتند که وقایع حدی بارندگی از خصوصیت مقیاس‌گذاری فرایندهای بارندگی تبعیت می‌کند.

De Lima و Grasman (۱۹۹۹) به تحلیل چندفرکتالی بارندگی روزانه و ۱۵ دقیقه منطقه‌ای نیمه‌خشک در پرتغال پرداختند. تحلیل نظری و مطالعه زمان شدت بارندگی در دامنه مقیاس‌ها نشان داد که داده‌های مورد استفاده با مقیاس‌گذاری چندفرکتالی هم‌خوانی بهتری داشته است. Kiely و Ivanova (۱۹۹۹) به ماهیت چند طبیعت فرکتالی بارندگی در Valentina در جنوب غربی ساحل ایرلند پرداختند. ایشان بر اساس داده‌های بارندگی ساعتی در سری زمانی ۵۴ ساله و با استفاده از آماره‌های معمول به این نتیجه دست یافتند که دو دوره مجزا (۱۹۴۰ تا ۱۹۷۵ و ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۳) قابل تشخیص است. Sivakumar (۲۰۰۰) در پژوهشی با هدف بررسی تناسب تئوری فرکتال برای درک رفتار بارندگی و تبدیل داده‌های بارندگی از یک مقیاس زمانی به دیگر مقیاس‌ها به این نتیجه رسیدند که چارچوب چند فرکتالی برای توصیف بارندگی مشاهداتی برای مناطق اقلیمی مختلف مناسب بوده و این تئوری می‌تواند برای تبدیل داده‌های بارندگی به مقیاس‌های مختلف زمانی پیشنهاد شود. نمونه‌هایی از انواع رفتارهای

معرفی هندسه فرکتالی به‌وسیله مندلبرات ریاضیدان فرانسوی، به‌عنوان هندسه طبیعت، توجه بسیاری از محققان علوم و مهندسی به این هندسه نوین جلب شد (Mandelbrot, ۱۹۸۲). از آن زمان تاکنون محققان توانسته‌اند هندسه پدیده‌های پیچیده طبیعی را به‌خوبی با این هندسه تفسیر نمایند. از طرف دیگر رفتار فیزیکی بسیاری از فرایندهای طبیعی نیز به‌خوبی با بهره‌گیری از روابط هندسه فرکتالی قابل پیش‌بینی می‌باشد (Nikoei و همکاران، ۲۰۰۸). تحلیل فرکتالی، بینشی منحصر بفرد در دامنه‌ای وسیع از پدیده‌های طبیعی را فراهم می‌نماید. خودتشابهی<sup>۱</sup>، یکی از مهم‌ترین خصوصیت‌های پدیده‌های فرکتالی است، به‌صورتی که شکل کلی آن در مقیاس‌های کوچک و کوچک‌تر تکرار می‌شود (Breslin و Belward, ۱۹۹۹). مشخص شده است که بسیاری از سیستم‌های فیزیکی، ژئوفیزیکی، هیدرولوژیکی و پویایی نوسان‌های مختص آن‌ها، می‌تواند به‌عنوان سامانه‌های مکانیکی چندوجهی پراکنده که اساساً غیرخطی هستند، بیان شود (Loboda, ۲۰۰۱). بُعد فرکتال چگونگی تکرار پیچیدگی پدیده‌ها را در هر مقیاس اندازه می‌گیرد و بالا بودن مقدار بُعد فرکتالی نشان‌دهنده پیچیدگی بیشتر آن است (Belward و Breslin, ۱۹۹۹).

یکی از مهمترین خصوصیت فرکتال، تکرار آن در بخش‌هایی با اندازه کوچک‌تر است، که این خصوصیت خودتشابهی نامیده می‌شود و در مقیاس‌های زمان و مکان ثابت است (Zhou, ۲۰۰۴). ثبات خصوصیات فرایندها در دامنه‌ای از مقیاس‌ها، مقیاس‌گذاری<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. سامانه‌های مقیاس‌گذاری می‌توانند به‌وسیله تئوری‌های فرکتالی و چندفرکتالی<sup>۳</sup> بیان شوند (Garcia-Marin و همکاران، ۲۰۰۸). تئوری فرکتال (Mandelbrot, ۱۹۸۲) با مقیاس‌گذاری ساده سر و کار دارد و می‌تواند پدیده‌های پیچیده را به‌وسیله پارامترهای ساده تبیین نماید. بارندگی یک فرایند هیدرولوژیکی غیرخطی با تغییرپذیری بالا در دامنه وسیعی از مقیاس‌های زمانی و مکانی است (De Lima

<sup>1</sup> Self-similarity

<sup>2</sup> Scaling

<sup>3</sup> Multifractal

مذکور ضروری است (De Lima و De Lima، ۲۰۰۹). هدف پژوهش حاضر تعیین دوره‌های خشک و مرطوب در استان گلستان و محاسبه بُعد فرکتالی آن است. همچنین تفسیر خصوصیت وقایع خشک و مرطوب در ایستگاه‌ها و تغییرات مکانی آن از دیگر اهداف پژوهش حاضر است.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر استان گلستان با مساحتی حدود ۲۰۴۳۸ کیلومتر مربع در شمال شرق کشور می‌باشد. منطقه مطالعاتی محدوده جغرافیایی ۵۰' ۵۳" تا ۱۸' ۵۶" طول شرقی و ۲۵' ۳۶" تا ۰۸' ۳۸" عرض شمالی را تحت پوشش قرار می‌دهد. مقدار بارندگی در استان گلستان از حدود ۱۸۰ میلی‌متر در ایستگاه داشلی‌برون تا ۸۸۰ میلی‌متر در ایستگاه پس‌پشته متغیر است. با توجه به ناهمگنی و تنوع توپوگرافی و کاربری‌های اراضی در منطقه مورد مطالعه، خصوصیات و وقوع زمانی و مکانی دوره‌های خشک و مرطوب تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، منطقه مورد مطالعه در نوار شمالی دارای اقلیم خشک و در نوار پایین‌تر آن اقلیم نیمه‌خشک را دارد. همچنین دو ناحیه بسیار مرطوب در داخل ناحیه‌های مرطوب و پنج ناحیه مرطوب در داخل ناحیه‌های نیمه‌مرطوب قرار دارد (Mosaedi و همکاران، ۲۰۰۷؛ Mostafazadeh و Sheikh، ۲۰۱۲). موقعیت جغرافیایی و پراکندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی مطالعاتی در پژوهش حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است. در جدول ۱ نیز برخی از خصوصیات آماری ایستگاه‌های مذکور و مورد استفاده در تجزیه و تحلیل‌ها ارائه شده است.

**روش پژوهش:** در تئوری فرکتال تعیین مقیاس از طریق محاسبه بُعد فرکتالی انجام خواهد شد. در محاسبه بُعد فرکتال، اندازه‌گیری مقیاس دلتا ( $\delta$ ) ضروری است. در هر مقیاس دلتا ( $\delta$ )، از بی‌نظمی‌ها (شامل جزئیات و تغییرپذیری) در مقیاس‌های خیلی کوچک (کمتر از دلتا) صرف‌نظر می‌شود. مفهوم بُعد با رفتار مقیاس در اندازه‌گیری‌های دلتا که به صفر میل می‌کند، در ارتباط است (De Lima و De Lima،

تغییرناپذیر مقیاس در فرایندهای هیدرولوژیکی مبتنی بر شواهد تجربی به‌وسیله Hubert (۲۰۰۱) ارائه شد و بر اهمیت تحلیل فرکتالی در هیدرولوژی و مدیریت منابع آب تاکید نمود. Zhou (۲۰۰۴) با هدف محاسبه بُعد فرکتالی و چندفرکتالی رواناب روزانه در چهار حوزه آبخیز کشاورزی، از الگوهای مقیاس فرکتالی مدل رقومی ارتفاع به‌منظور تهیه و استخراج مورفومتری شبکه جریان استفاده نمود و مشخص شد که رواناب روزانه در مقیاس‌های زمانی مشخص دارای ثبات است.

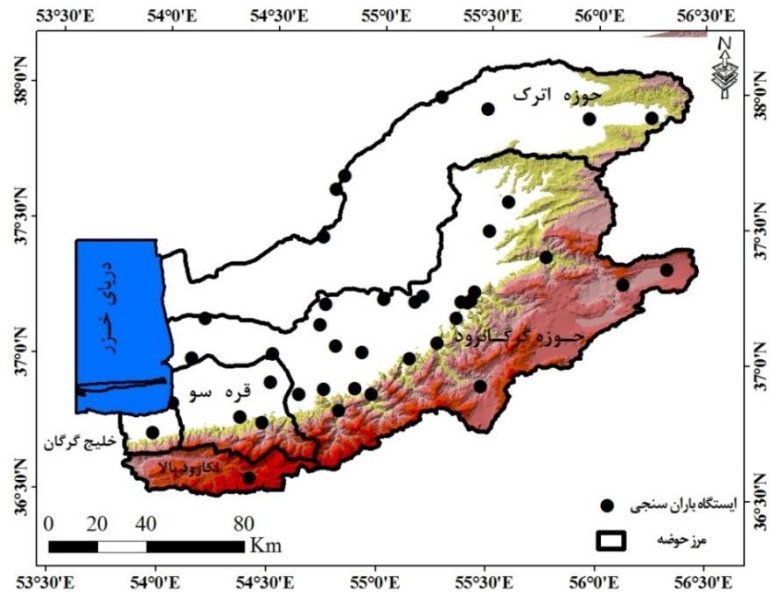
Zhou و همکاران (۲۰۰۶) به مطالعه ثبات مقیاس سری‌های زمانی رواناب روزانه در آبخیزهایی با توپوگرافی و اقلیم متفاوت پرداختند و نتیجه گرفتند که دو دامنه مقیاس‌گذاری بر اساس منحنی شمارش باکس‌ها با خط شکست در حدود نه تا ۱۲ ماه وجود دارد. De Lima و De Lima (۲۰۰۹) با هدف تعیین ثبات خصوصیات در مقیاس‌ها و محاسبه بُعد فرکتالی و چندفرکتالی در ساختار زمانی بارندگی، از سری زمانی داده‌های بارش روزانه و ۱۰ دقیقه‌ای منطقه Maderia Archipelago در ناحیه استوایی اقیانوس اطلس استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که داده‌ها از ثبات مقیاس و خصوصیت فرکتالی برخوردار هستند. Cindric و همکاران (۲۰۱۰) در یک دوره آماری ۴۱ ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰) در کشور کرواسی، داده‌های ماهانه و سالانه ۲۵ ایستگاه هواشناسی برای تعیین الگوی زمانی و مکانی دوره‌های خشک را استفاده نمودند و سه منطقه کلیماتولوژیک بر اساس طول دوره‌های خشک را مشخص نمودند. Selvam (۲۰۱۱) با تحلیل سری‌های زمانی داده‌های جهانی میانگین دما ماهانه برای دوره زمانی ۱۸۸۰ تا ۲۰۰۸ نشان دادند که سری داده‌ها و طیف توانی آن دارای توزیع مطابق با پیش‌بینی توزیع تحلیل توانی معکوس است.

به‌دلیل این‌که بارندگی عامل محرک بسیاری از فرایندهای دیگر می‌باشد، مسئله تغییرپذیری زمانی و مکانی آن در بیشتر مطالعات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اگرچه تلاش‌های متعددی برای توسعه روش‌های تحلیل بارندگی در مقیاس‌های مختلف و با منشاء متفاوت صورت گرفته است، اما نیاز به انجام پژوهش‌های بیشتر برای درک بهتر تغییرپذیری فرایند

$$N_{\delta,A} \approx \lambda^{-DA} \quad (1)$$

بدین معنی که  $N_{\delta}$  متناسب با  $\delta^{-D}$  در زمانی است که حد تنا به سمت صفر میل می کند ( $\lim \delta \Rightarrow 0$ ).

(۲۰۰۹). تعداد دامنه‌های بدون هم‌پوشانی  $N_{\delta,A}$  مربوط به بُعد  $\delta$  برای پوشش یک مجموعه  $A$  در فضای "یک منهای بُعد"، باید رابطه زیر را تعیین نماید.



شکل ۱- موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی مطالعاتی در استان گلستان

جدول ۱- برخی از خصوصیات ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه در تجزیه و تحلیل‌ها در استان گلستان

ردیف	ایستگاه	انحراف معیار	ضریب تغییرات	میانگین	ردیف	ایستگاه	انحراف معیار	ضریب تغییرات	میانگین
۱	آق‌قلا	۹۶/۰	۰/۲	۴۲۴/۷	۲۱	کبودال	۱۹۷/۸	۰/۳	۶۰۸/۰
۲	آراز کوسه	۸۴/۲	۰/۲	۴۴۶/۳	۲۲	گالیکش	۱۸۸/۹	۰/۳	۷۵۲/۳
۳	باغه سالیان	۷۸/۶	۰/۲	۳۴۳/۵	۲۳	گنبد	۹۷/۱	۰/۲	۴۲۱/۱
۴	بهلکه داشلی	۱۲۴/۶	۰/۳	۴۲۹/۱	۲۴	لاله‌باغ	۱۰۴/۰	۰/۲	۵۰۳/۰
۵	پس‌پشته	۲۲۱/۰	۰/۳	۸۸۲/۴	۲۵	لزوره	۱۷۱/۲	۰/۲	۸۹۴/۴
۶	پیشکمر	۱۹۹/۴	۰/۴	۵۳۳/۵	۲۶	مینودشت	۲۷۲/۰	۰/۴	۷۵۴/۴
۷	تقی‌آباد	۹۴/۹	۰/۰	۵۷۲/۷	۲۷	نوده	۱۷۰/۱	۰/۲	۸۱۷/۵
۸	تمر	۱۴۷/۸	۰/۳	۵۱۶/۹	۲۸	سلطان‌آباد	۱۰۴/۳	۰/۲	۴۵۶/۴
۹	تنگره	۱۴۷/۰	۰/۲	۷۰۰/۰	۲۹	قازانقایه	۱۰۲/۶	۰/۴	۲۷۳/۳
۱۰	تیل‌آباد	۷۳/۸	۰/۳	۲۴۱/۰	۳۰	مراوه‌تپه	۷۶/۷	۰/۲	۳۵۳/۰
۱۱	چشمه‌خان	۵۷/۸	۰/۲	۲۳۳/۹	۳۱	هوتن	۷۱/۶	۰/۳	۲۷۵/۱
۱۲	رامیان	۱۵۱/۶	۰/۲	۸۵۸/۳	۳۲	چات	۶۳/۷	۰/۳	۱۹۳/۸
۱۳	رباط‌قره‌بیل	۷۲/۴	۰/۴	۱۹۷/۳	۳۳	اینچه‌برون	۶۱/۵	۰/۳	۲۱۹/۲
۱۴	زرینگل	۱۴۵/۷	۰/۲	۸۰۳/۷	۳۴	داشلی‌برون	۵۲/۰	۰/۳	۱۸۲/۷
۱۵	سدگرگان	۸۲/۹	۰/۲	۳۳۶/۵	۳۵	ترشکلی	۶۸/۳	۰/۳	۲۱۵/۹
۱۶	سرمو	۱۵۷/۱	۰/۲	۷۶۲/۲	۳۶	قلعه‌جیق	۸۴/۴	۰/۲	۳۴۹/۸
۱۷	غفارحاجی	۸۸/۳	۰/۲	۴۴۱/۸	۳۷	ناهارخوران	۱۸۸/۹	۰/۲	۷۶۷/۳
۱۸	فاضل‌آباد	۱۳۷/۸	۰/۲	۶۵۱/۴	۳۸	شاه‌کوه‌بالا	۲۹۱/۲	۰/۵	۵۳۸/۲
۱۹	قزاقلی	۷۳/۸	۰/۲	۳۶۰/۱	۳۹	شصت‌کلاته	۱۴۵/۶	۰/۲	۷۰۷/۹
۲۰	قلی‌تپه	۲۰۵/۲	۰/۲	۸۲۸/۴	۴۰	سیاه‌آب	۱۰۹/۳	۰/۲	۵۰۹/۷

تعداد دوره‌های پرباران و کم‌باران رسم و بُعد فرکتالی داده‌های بارش ماهانه در هر یک از دوره‌های پرباران و کم‌باران محاسبه شد.

منحنی فرکتالی، یک نمودار از جزئیات نامحدود از خودتشابهی است. طول نمودار فرکتالی نامحدود بوده و با افزایش مقیاس داده‌ها افزایش می‌یابد. سطح افزایش جزئیات در هر مقیاس زمانی محاسباتی به‌وسیله بُعد فرکتالی نمایش داده می‌شود (Breslin و Belward, ۱۹۹۹). در ادامه منحنی فرکتال دوره‌های پرباران و کم‌باران نیز رسم و مورد تحلیل قرار گرفت. در این مرحله درصد ماه‌های پرباران و کم‌باران در طول دوره آماری در هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه و سپس به‌صورت مکانی ارائه شد. همچنین، الگوی مکانی تغییرات شدت و مدت وقوع دوره‌های پرباران و کم‌باران با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله در نرم‌افزار ArcMap 9.3 درون‌یابی شد و در شکل‌های ۸ و ۹ ارائه شده است (Martin-Vide و Gomez, ۱۹۹۹).

### نتایج و بحث

تعداد باکس‌های شمارش شده دوره‌های خشک و مرطوب در کل ایستگاه‌ها در مقیاس‌های مختلف زمانی در شکل ۲ نشان داده شده است.

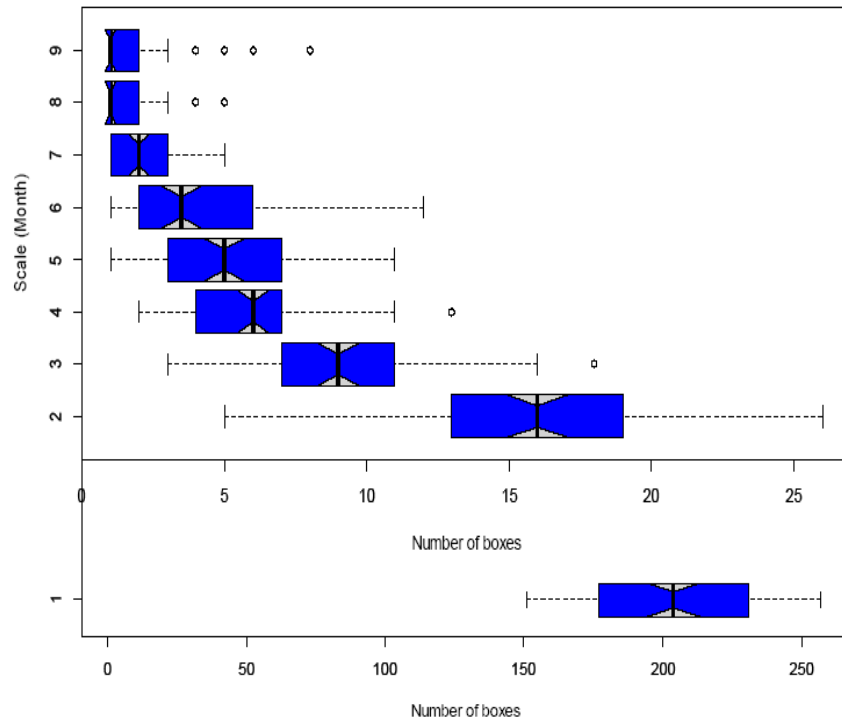
بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۲ در مقیاس زمانی یک ماهه، تعداد وقوع دوره‌ها برابر ۲۰۰ تکرار بوده است. در حالی که در مقیاس‌های دو ماهه و بیشتر این مقدار کمتر از ۱۷ تکرار می‌باشد. بنابراین، با افزایش مقیاس زمانی، تعداد ماه‌های متوالی خشک و مرطوب کاهش می‌یابد.

پلات لگاریتمی دوگانه ارتباط فراوانی وقوع و مقیاس‌های مختلف زمانی و همچنین، خط برازش تعداد وقوع دوره‌های مرطوب و خشک در مقیاس‌های مختلف زمانی در استان گلستان در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین، بُعد فرکتالی محاسبه شده برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های خشک و مرطوب در شکل ۴ ارائه شده است.

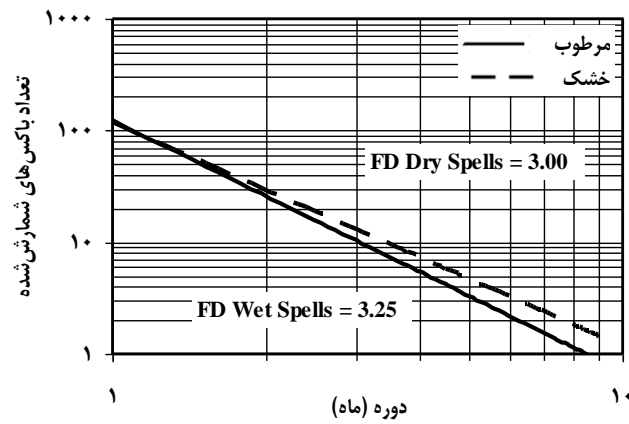
در رابطه (۱)، پارامتر  $D_A$  بُعد فرکتالی مجموعه A است. پارامتر  $D_A$  می‌تواند با روش شمارش باکس محاسبه شود. در خصوص داده‌های بارش، ساختار ژئومتری می‌تواند به‌عنوان بُعد فرکتالی در فضای "یک منهای بُعد" زمان به‌عنوان مجموعه‌ای از دوره‌های بارش در یک ایستگاه تعیین شود. دوره‌های پرباران و کم‌باران به‌صورت متوالی و متناوب تکرار می‌شوند (Bordi و همکاران، ۲۰۰۴؛ Sen, ۲۰۰۸). در کاربردهای عملی روش مذکور، فضای D بُعدی، داده‌های مشاهداتی متناسب با باکس‌های بدون هم‌پوشانی بُعد  $\delta$  وضعیت کاهش تدریجی خواهد داشت. دوره‌های خشک و مرطوب به‌صورت توالی متناوب تکرار می‌شوند (Sen, ۲۰۰۸). در مناطق مرطوب، ماهیت متغیر دوره‌های مرطوب و خشک، می‌تواند به‌وسیله تعیین آستانه تعیین شود.

در هر مقیاس زمانی، تعداد باکس‌هایی با دست‌کم یک تکرار در داده‌های مورد تحلیل شمارش خواهند شد. تعداد وقوع ماه‌های پرباران یا کم‌باران در دوره‌های یک تا نه ماهه محاسبه شد. با توجه به ماهیت داده‌های بارش ماهانه، با افزایش طول دوره، تعداد ماه‌های با بارندگی بیشتر یا کمتر از حد آستانه، کاهش می‌یابد. در پژوهش حاضر، متوسط درازمدت بارندگی ماهانه در هر ایستگاه به‌عنوان حد آستانه در نظر گرفته شده است. محاسبه تعداد دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس مقدار متوسط درازمدت دوره آماری در هر ماه برای ایستگاه مشخص در نظر گرفته شد (Anagnostopoulou و همکاران، ۲۰۰۳؛ Cindric و همکاران، ۲۰۱۰).

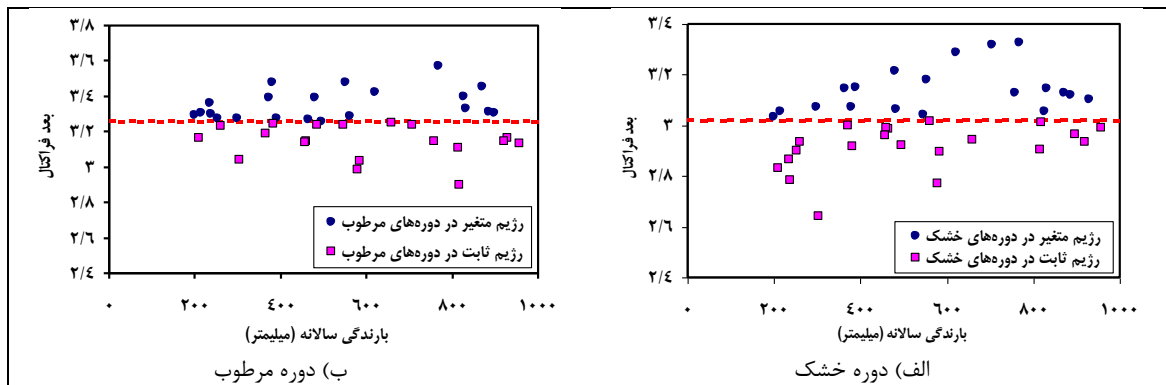
در پژوهش حاضر، مقیاس ماهانه برای تحلیل تعداد و توالی دوره‌های پرباران و کم‌باران و نیز محاسبه بُعد فرکتالی استفاده شده است. در صورتی که داده‌ها ثبات مقیاس داشته باشند، پلات  $\log(N_{\delta,A})$  و  $\log(\delta)$  باید دارای رابطه خطی باشد که نشان‌دهنده مقیاس‌گذاری است (De Lima و De Lima, ۲۰۰۹؛ Selvam, ۲۰۱۱). بُعد فرکتالی  $D_A$  از روی شیب خط برازش داده شده به داده‌ها محاسبه می‌شود. به روش کمترین مربعات، خط برازش مناسب میان ابر نقاط



شکل ۲- تعداد باکس‌های شمارش شده دوره‌های خشک و مرطوب در مقیاس‌های مختلف زمانی



شکل ۳- پلات لگاریتمی و خط برازش تعداد وقوع دوره‌های مرطوب و خشک در مقیاس‌های مختلف زمانی در استان گلستان



شکل ۴- بُعد فرکتالی محاسبه شده برای هر ایستگاه به ازای مقدار متوسط بارندگی سالانه (الف) دوره خشک و (ب) دوره مرطوب

بُعد فرکتالی از روی شیب خط برازش داده شده برای هر دو دوره خشک و مرطوب بر اساس داده‌های کلیه ایستگاه‌ها محاسبه شد. بر اساس نتایج مندرج در شکل ۳، در مجموع شیب کمتر دوره خشک نشان‌دهنده شدت وقوع کمتر خشکی در منطقه مطالعاتی می‌باشد. شکل ۳ بیان‌گر رابطه معکوس میان مقیاس‌های زمانی وقوع دوره‌های مرطوب و خشک و تعداد باکس‌های شمارش شده است. بر اساس شکل مذکور، بُعد فرکتالی محاسبه شده بر اساس باکس‌های شمارش شده و مقیاس‌های مختلف در دوره خشک و مرطوب به ترتیب برابر سه و ۳/۲۵ است. بر این اساس، مقدار کمتر بُعد فرکتالی وقوع دوره خشک، می‌توان گفت که دوره خشک به صورت منظم‌تری اتفاق افتاده

است.

بر اساس اطلاعات شکل ۴، مشخص می‌شود که هر چه مقدار بُعد فرکتالی از میانگین محاسباتی برای کل ایستگاه‌ها بیشتر باشد، الگوی وقوع دوره‌های خشک و مرطوب دارای تغییرات بیشتری است. همچنین، می‌توان گفت ایستگاه‌های با مقادیر مختلف بارندگی سالانه می‌توانند دارای رژیم وقوع ثابت یا متغیر باشند.

در جدول ۲، الگوی وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در هر یک از ایستگاه‌ها بر اساس تغییرات بُعد فرکتالی مشخص شده است. ضمناً موقعیت مکانی رژیم‌های مختلف وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه مورد مطالعه ارائه شده در شکل ۵ است.

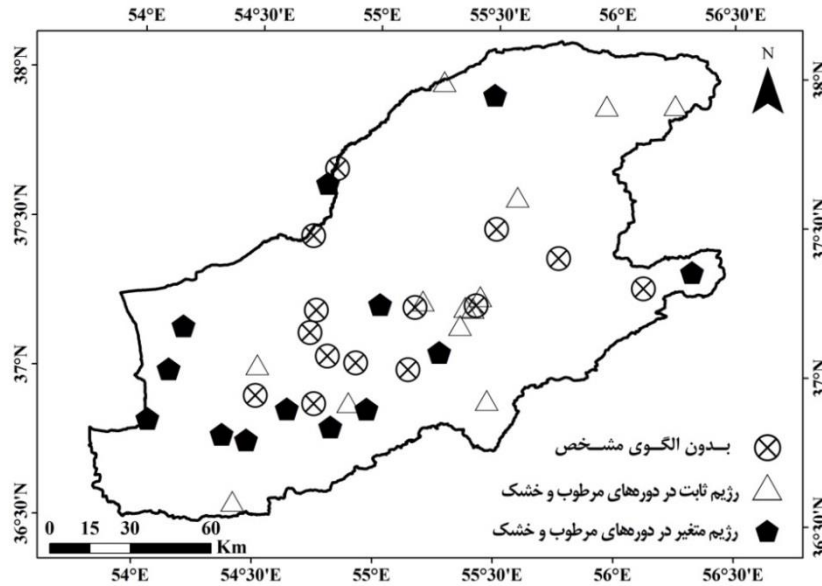
جدول ۲- الگوی وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در هر یک از ایستگاه‌های باران‌سنجی استان گلستان

ردیف	ایستگاه	دوره خشک	دوره مرطوب	ردیف	ایستگاه	دوره خشک	دوره مرطوب
۱	آق‌قلا	ثابت	ثابت	۲۱	کبودوال	ثابت	ثابت
۲	آرازکوسه	نامشخص	نامشخص	۲۲	گالیکش	ثابت	ثابت
۳	باغه سالیان	نامشخص	نامشخص	۲۳	گنبد	ثابت	ثابت
۴	بهلکه‌داشلی	نامشخص	نامشخص	۲۴	لاله‌باغ	نامشخص	نامشخص
۵	پس‌پشته	ثابت	ثابت	۲۵	لزوره	ثابت	ثابت
۶	پیش‌کمر	ثابت	ثابت	۲۶	مینودشت	ثابت	ثابت
۷	تقی‌آباد	متغیر	متغیر	۲۷	نوده	متغیر	متغیر
۸	تمر	نامشخص	نامشخص	۲۸	سلطان‌آباد	نامشخص	نامشخص
۹	تنگراه	نامشخص	نامشخص	۲۹	قازانقایه	ثابت	ثابت
۱۰	تیل‌آباد	ثابت	ثابت	۳۰	مراوه‌تپه	ثابت	ثابت
۱۱	چشمه‌خان	نامشخص	نامشخص	۳۱	هوتن	متغیر	متغیر
۱۲	رامیان	نامشخص	نامشخص	۳۲	چات	ثابت	ثابت
۱۳	رباط‌قره‌بیل	متغیر	متغیر	۳۳	اینچه‌برون	نامشخص	نامشخص
۱۴	زرینگل	متغیر	متغیر	۳۴	داشلی‌برون	متغیر	متغیر
۱۵	سدگرگان	نامشخص	نامشخص	۳۵	ترشکلی	نامشخص	نامشخص
۱۶	سرمو	متغیر	متغیر	۳۶	قلعه‌جیق	متغیر	متغیر
۱۷	غفارحاجی	متغیر	متغیر	۳۷	ناهارخوران	متغیر	متغیر
۱۸	فاضل‌آباد	نامشخص	نامشخص	۳۸	شاه‌کوه‌بالا	ثابت	ثابت
۱۹	قزاقلی	متغیر	متغیر	۳۹	شصت‌کلاته	متغیر	متغیر
۲۰	قلی‌تپه	نامشخص	نامشخص	۴۰	سیاه‌آب	متغیر	متغیر

به نظر می‌رسد که ایستگاه‌های واقع در غرب منطقه مورد مطالعه، دارای رژیم متغیر در وقوع توالی دوره‌های خشک و مرطوب هستند.

**تغییرات زمانی:** به منظور تعیین تغییرات زمانی دوره‌های خشک و مرطوب، می‌توان از مقادیر ثابت و شیب خطوط برازش داده شده به بُعد فرکتالی داده‌ها استفاده نمود. در جدول ۳ مقدار ثابت عددی خط

برازش داده شده نماینده متوسط بیشینه مدت قابل وقوع (مرطوب یا خشک) می‌باشد. در حالی که شیب خط، شدت دوره (مرطوب یا خشک) را نشان می‌دهد. به‌صورتی که هر چه شیب خط بیشتر باشد، نشان‌دهنده ثبات بیشتر داده‌ها در وقوع دوره‌های خشک و مرطوب است.



شکل ۵- موقعیت مکانی انواع رژیم‌های ثابت، متغیر و بدون الگو در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان گلستان

جدول ۳- الگوی وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در هر یک از ایستگاه‌های باران‌سنجی استان گلستان

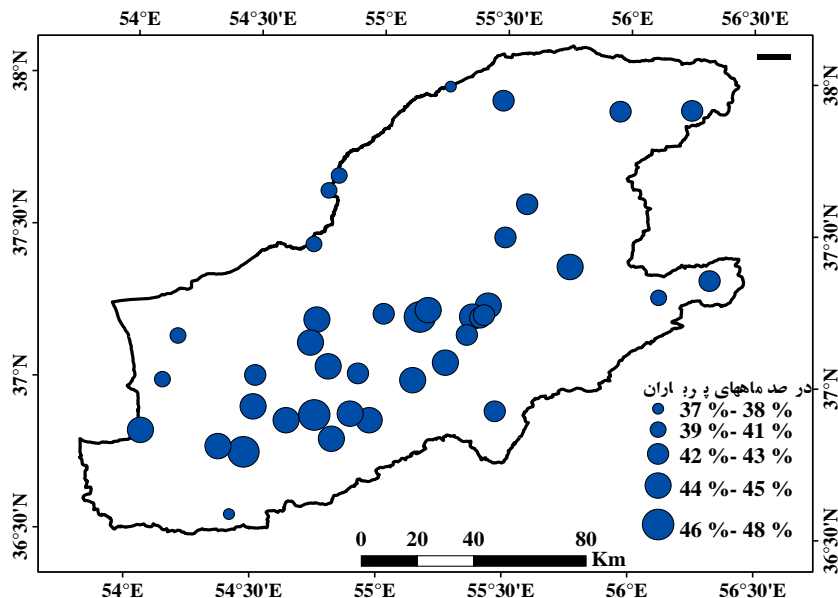
ردیف	ایستگاه	مرطوب		ایستگاه	ردیف	خشک		ایستگاه	ردیف
		ضریب ثابت	شیب			ضریب ثابت	شیب		
۱	آقی قلا	۷/۳۳	-۳/۳۶	کبودال	۲۱	۷/۹۲	۳/۴۵	۷/۵۹	۳/۲۲
۲	آرازکوسه	۷/۷۱	-۳/۵۷	گالیکش	۲۲	۷/۸۸	-۳/۵۳	۷/۷۴	-۳/۳۳
۳	باغه سالیان	۷/۲۶	-۳/۲۸	گنبد	۲۳	۷/۵۵	-۳/۲۶	۸/۰۵	-۳/۵۶
۴	بهلکه‌داشلی	۷/۳۰	-۳/۲۸	لاله‌باغ	۲۴	۸/۱۰	-۳/۶۰	۷/۸۱	-۳/۳۹
۵	پس‌پشته	۷/۵۹	-۳/۵۵	لزوره	۲۵	۷/۷۲	-۳/۲۵	۷/۶۴	-۳/۱۸
۶	پیشکمر	۷/۳۶	-۳/۳۴	مینودشت	۲۶	۷/۷۸	-۳/۲۲	۷/۴۸	-۳/۱۰
۷	تقی‌آباد	۶/۹۹	-۳/۰۰	نوده	۲۷	۷/۶۸	-۳/۳۷	۷/۷۷	-۳/۳۸
۸	تمر	۷/۳۶	-۳/۴۷	سلطان‌آباد	۲۸	۷/۲۶	-۲/۸۷	۷/۹۶	-۳/۴۹
۹	تنگراه	۷/۵۵	-۳/۵۸	قازانقایه	۲۹	۷/۸۴	-۳/۴۴	۷/۴۹	-۳/۰۰
۱۰	تیل‌آباد	۷/۲۲	-۳/۲۶	مراوه‌تپه	۳۰	۷/۸۹	-۳/۴۱	۷/۹۳	-۳/۴۳
۱۱	چشمه‌خان	۷/۲۸	-۳/۴۰	هوتن	۳۱	۷/۹۸	-۳/۴۴	۷/۲۳	-۲/۹۶
۱۲	رامیان	۷/۷۳	-۳/۶۱	چات	۳۲	۷/۷۷	-۳/۳۶	۷/۹۳	-۳/۲۹
۱۳	رباط‌قره‌بیل	۷/۱۲	-۳/۲۴	اینچه‌برون	۳۳	۷/۸۹	-۳/۴۴	۷/۸۱	-۳/۲۶
۱۴	زرینگل	۷/۲۲	-۳/۱۹	داشلی‌برون	۳۴	۷/۶۹	-۳/۳۳	۷/۵۶	-۳/۰۹
۱۵	سدگرگان	۷/۳۷	-۳/۳۴	ترشکلی	۳۵	۷/۷۹	-۳/۴۴	۸/۲۸	-۳/۶۴
۱۶	سرمو	۷/۱۷	-۳/۲۵	قلعه‌جیق	۳۶	۷/۸۱	-۳/۴۳	۷/۵۳	-۳/۱۶
۱۷	غفار حاجی	۷/۰۲	-۳/۱۶	ناهارخوران	۳۷	۷/۸۶	-۳/۳۸	۷/۶۷	-۳/۲۹
۱۸	فاضل‌آباد	۷/۷۱	-۳/۴۹	شاه‌کوه‌بالا	۳۸	۷/۵۷	-۳/۳۶	۶/۶۴	-۲/۳۶
۱۹	فراقلی	۷/۴۶	-۳/۴۳	شصت‌کلا ته	۳۹۹	۷/۶۸	-۳/۳۰	۷/۶۸	-۳/۴۰



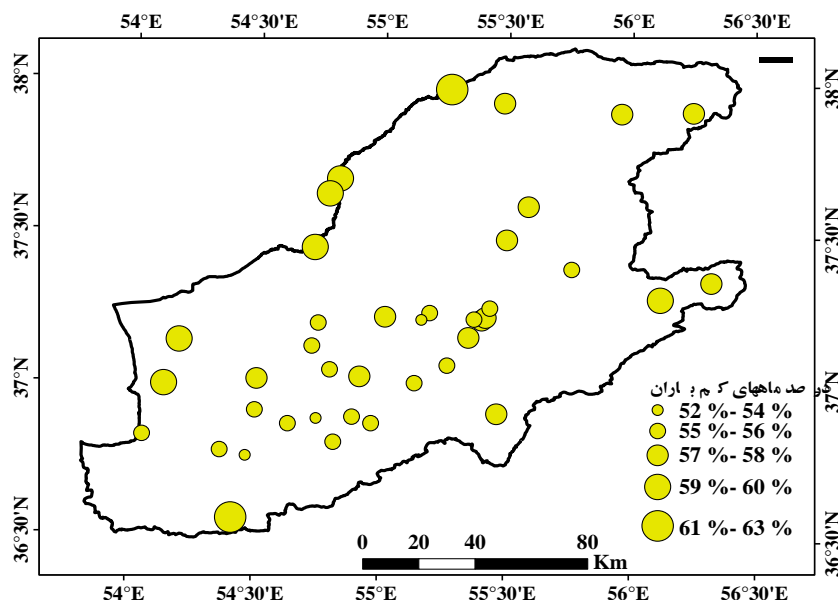
۲۰	قلی تپه	-۳/۵۱	۷/۵۴	-۳/۶۵	۸/۱۴	۴۰	سیاه آب	-۳/۰۱	۶/۹۸	-۳/۳۴	۷/۶۸
----	---------	-------	------	-------	------	----	---------	-------	------	-------	------

**تغییرات مکانی:** در شکل‌های ۶ و ۷ توزیع مکانی درصد ماه‌های پرباران و کم‌باران طی دوره آماری در منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است. همچنین، نقشه‌های تغییرات مکانی شدت و مدت دوره‌های خشک و مرطوب به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ ارائه

شده است. در واقع نقشه‌های موجود در شکل‌های ۸ و ۹، متوسط دوره وقوع و نیز شدت وقوع دوره مرطوب یا خشک در ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی را ارائه می‌دهند.



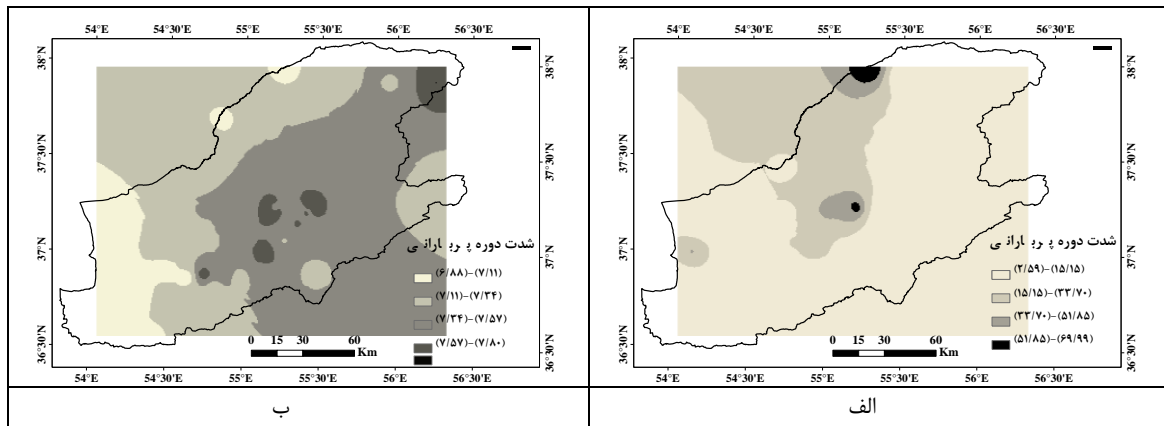
شکل ۶- پراکنش مکانی درصد ماه‌های پرباران در طول دوره آماری ایستگاه‌های استان گلستان



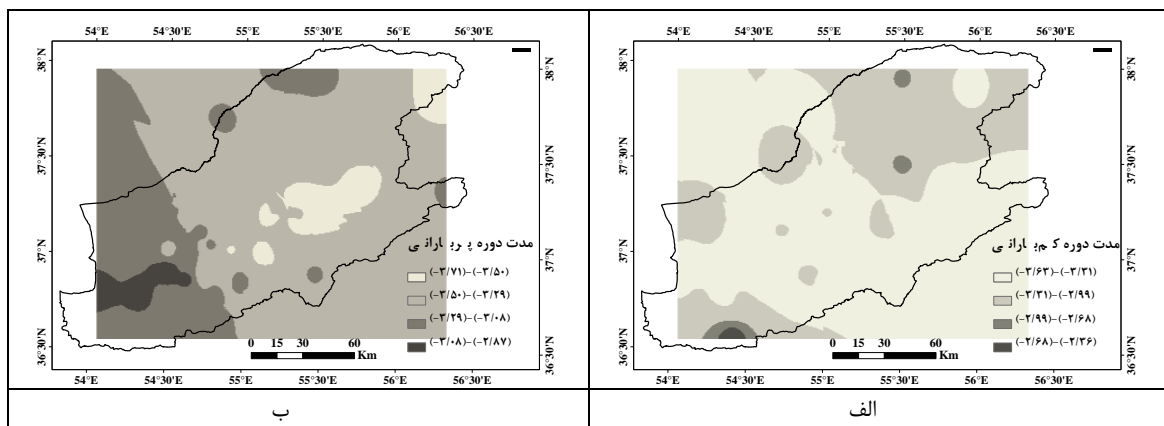
شکل ۷- پراکنش مکانی درصد ماه‌های کم‌باران در طول دوره آماری ایستگاه‌های استان گلستان

کم‌باران در یک دامنه حدود ۱۵ درصدی است. همچنین، نحوه پراکنش درصد هر یک از ماه‌های سال در سطح استان قابل مشاهده می‌باشد.

بر اساس اطلاعات موجود در شکل‌های ۶ و ۷ می‌توان استنباط نمود که درصد ماه‌های پرباران کمتر از کم‌باران بوده و نوسانات هر دو دوره پرباران و



شکل ۸- الگوی مکانی شدت دوره (الف) کم‌باران و (ب) پر باران در ایستگاه‌های استان گلستان



شکل ۹- الگوی مکانی مدت دوره (الف) کم‌باران و (ب) پر باران در ایستگاه‌های استان گلستان

حاضر محاسبه بُعد فرکتالی دوره‌های خشک و مرطوب و همچنین تفسیر تغییرات مکانی آن در استان گلستان مد نظر بوده است. بر اساس نتایج پژوهش تکرار وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در مقیاس‌های دو ماهه و بیشتر کمتر از ۱۷ می‌باشد. این تکرار در مقیاس زمانی یک ماهه به مراتب بیشتر می‌باشد. این نتیجه کاهش تعداد ماه‌های متوالی خشک و مرطوب با افزایش مقیاس زمانی را تأیید می‌نماید که با یافته‌های Anagnostopoulou و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. بر اساس بُعد فرکتالی محاسباتی در دوره‌های خشک و مرطوب و طبق شیب خط برازش‌یافته بر آن‌ها، دوره خشک دارای شدت وقوع کمتری می‌باشد. این در حالی است که شیب بیشتر خط برازش‌یافته در دوره مرطوب نشان‌دهنده شدت بیشتر وقوع آن است. همچنین مقدار محاسباتی کمتر بعد فرکتالی دوره خشک نسبت به دوره مرطوب حاکی از آن است که دوره خشک به صورت منظم‌تری به وقوع

بر اساس نقشه‌های ارائه شده، مدت دوره خشکی در قسمت‌های شمال و شمال شرق منطقه مورد مطالعه بیشتر است. بایستی اشاره شود که مناطق شمال و شمال شرق که به مناطق خشک کشور ترکمنستان نزدیک‌تر است، دارای شرایط خشکی شدیدتری است. در حالی که در قسمت‌های جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب که از بارش‌های کوهستانی متأثر می‌شود، دارای شدت رطوبت بیشتری است.

### نتیجه‌گیری

بررسی و تحلیل دوره‌های خشک و مرطوب در یک منطقه با توجه به وجود ویژگی خودتشابهی در متغیرهای اقلیمی همچون بارش امکان استفاده از روش‌های نوین از جمله بُعد فرکتالی را فراهم می‌نماید. این امر خود منجر به پیش‌بینی خصوصیات و رفتارسنجی بارش در منطقه خواهد شد که امکان تحلیل و مدیریت آن را فراهم خواهد نمود. در پژوهش

مقادیر بالای بعد فرکتال به عنوان شاخص متغیر بودن رژیم بارندگی در نظر گرفته شده است که با نتایج Zhang (۲۰۰۹) و Yu و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد. بر اساس نتایج، درصد ماه‌های پرباران کمتر از کم‌باران بوده و نوسانات هر دو دوره پرباران و کم‌باران در یک دامنه حدود ۱۵ درصدی است.

نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در تعیین تشابه وقوع دوره‌های خشکی مبتنی بر بارش و ثبات یا تغییرات مکانی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی مورد استفاده قرار گیرد.

پیوسته است. بیشتر بودن تغییرات الگوی وقوع دوره‌های خشک و مرطوب به دلیل کمتر بودن مقدار بعد فرکتالی از دیگر یافته‌های پژوهش حاضر است. بر این اساس می‌توان استنباط نمود که رژیم وقوع ثابت یا متغیر دوره‌های خشک و مرطوب می‌توانند در ایستگاه‌های با مقادیر مختلف بارندگی سالانه رخ دهد.

بعد فرکتالی به عنوان شاخص پیچیدگی سیستم در نظر گرفته می‌شود و به عبارتی هرچه مقدار بعد فرکتال بیشتر باشد، میزان پیچیدگی سیستم نیز بیشتر است. بر همین اساس در پژوهش حاضر نیز

### منابع مورد استفاده

1. Anagnostopoulou, Ch., P. Maheras, T. Karacostas and M. Vafiadis. 2003. Spatial and temporal analysis of dry spells in Greece. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 74(1): 77-91.
2. Bordi, I., K. Fraedrich, J. Jiang and A. Sutera. 2004. Spatio-temporal variability of dry and wet periods in eastern China. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 79(1-2): 81-91.
3. Breslin, M.C. and J.A. Belward. 1999. Fractal dimensions for rainfall time series. *Mathematics and Computers in Simulation*, 48: 437-446.
4. Cindric, K., Z. Pasaric and M. Gajic-Capka. 2010. Spatial and temporal analysis of dry spells in Croatia. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 102(1-2): 171-184.
5. De Lima, M.I.P. and I. Grasman. 1999. Multifractal analysis of 15-min and daily rainfall from a semi-arid region in Portugal. *Journal of Hydrology*, 220: 1-11.
6. De Lima, M.I.P. and J.L.M.P. De Lima. 2009. Investigating the multifractality of point precipitation in the Madeira archipelago. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 16: 299-311.
7. Garcia-Marin, A.P., F.J. Jimenez-Hornero and J.L. Ayuso-Munoz. 2008. Universal multifractal description of an hourly rainfall time series from a location in southern Spain. *Atmosfera*, 21(4): 347-355.
8. Ghavidel Rahimi, Y. 2005. The application of rainfall based criteria in studying of drought and wet years, case study: East Azarbaijan province. *Pajouhesh and Sazandegi*, 65: 47-56.
9. Hubert, P. 2001. Multifractals as a tool to overcome scale problems in hydrology. *Hydrological Sciences Journal*, 46(6): 897-905.
10. Hubert, P., Y. Tessier, S. Lovejoy, D. Schertzer, F. Schmitt, P. Ladoy and I. Desurose. 1993. Multifractals and extreme rainfall events. *Geophysical Research Letters*, 20(10): 931-934.
11. Kiely, G. and K. Ivanova. 1999. Multifractal analysis of hourly precipitation. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 24(7): 781-786.
12. Krasovskaia, I., L. Gottschalk and Z. Kundzewicz. 1999. Dimensionality of scandinavian river flow regimes. *Hydrological Sciences Journal*, 44(5): 705-723.
13. Krasovskaia, I., L. Gottschalk and Z. Kundzewicz. 2002. River flow regimes in a changing climate. *Hydrological Sciences Journal*, 47(4): 597-609.
14. Loboda, N.S. 2001. Neural networks and multifractal modeling of non-linear complex system. *Uzhhorod University Scientific Herald Series Physics Publishes Original*, 10: 119-122.
15. Mandelbrot, B.B. 1982. *The fractal geometry of nature*. New York, W.H. Freeman and Company, 480 pages.
16. Martin-Vide, J. and L. Gomez. 1999. Regionalization of peninsular Spain based the length of dry spells. *International Journal of Climatology*, 19: 537-555.
17. Mosaedi, A., M. KhaliliZadeh and A. Mohammadi. 2007. Drought monitoring in Golestan province. *Journal of Agriculture Sciences and Natural Resources*, 15(2): 176-183.
18. Mostafazadeh, R. and V.B. Sheikh. 2012. Rain-gauge density assessment in Golestan province using spatial correlation technique. *Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)*, 93: 79-87.
19. Nikoei, E., M. Heidari, N. Taleb Bidokhti and A.A. Hekmatzadeh. 2008. Fractal geometry in river engineering: ideas, basic concepts and achievements. 4th National Congress on Civil Engineering, Tehran University, 6-8 May 2008.

20. Selvam, A.M. 2011. Signatures of universal characteristics of fractal fluctuations in global mean monthly temperature anomalies. *Journal of Systems Science and Complexity*, 24: 14–38.
21. Sen, Z. 2008. *Wadi hydrology*. Taylor and Francis Group, CRC Press, 347 pages.
22. Sivakumar, B. 2000. Fractal analysis of rainfall observed in two different climatic regions. *Hydrological Sciences Journal*, 45(5): 727-738.
23. Tessier, Y., Sh. Lovejoy, P. Hubert, D. Schertzer and S. Pecknold. 1996. Multifractal analysis and modeling of rainfall and river flows and scaling, causal transfer functions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 101: 26427–26440.
24. Yu, M., D. Liu and J. Dieu Bazimenyera. 2013. Diagnostic complexity of regional groundwater resources system based on time series fractal dimension and artificial fish swarm algorithm. *Journal of Water Resources Management*, 13: 1897–1911.
25. Zhang, P. 2009. Nonlinear study on surrounding rock stability of Baihe Tunnel based on wavelet theory. Jilin University, 82 pages.
26. Zhou, X. 2004. Fractal and multi fractal analysis of runoff time series and stream networks in agricultural watersheds. PhD Thesis, 122 pages.
27. Zhou, X., N. Persaud and H. Wang. 2006. Scale invariance of daily runoff time series in agricultural watersheds. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 79–91.