دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۲
تابستان ۱۳۹۷، صفحات ۲۵۲-۲۳۷

*رئوف مصطفی‌زاده[۱]
خدیجه حاجی[۲]
اباذر اسمعلی‌عوری[۳]

تعیین شدت و تداوم دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیک جریان با استفاده از روش Power Laws Analysis در رودخانه‌های حوزه آبخیز گرگانرود

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸

چکیده

پایش و پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیک و تعیین دقیق زمان شروع و تداوم آن، اهمیت ویژه‌ای در مدیریت منابع آبی و برنامه‌ریزی جهت کاهش اثرات مخرب خشکسالی دارد. در پژوهش حاضر خصوصیات خشکسالی هیدرولوژیک در سری‌های زمانی دبی روزانه ۲۰ ایستگاه هیدرومتری در استان گلستان مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. در این تحقیق، شروع و پایان دوره‌های کم‌آبی و پرآبی، میانگین دبی، دبی مؤثر و حد آستانه محاسبه و سپس تعداد دنباله‌ها در توالی وقوع دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در دوره‌های ۱ تا ۳۰ ماهه مشخص گردید. براساس نتایج استفاده از روش تحلیل تابع توانی (Power Laws Analysis)، الگوهای شدت و تداوم دوره‌های ماهانه خشکسالی هیدرولوژیک مشخص شد. نتایج نشان داد که بین شدت وقوع و تداوم رابطه عکس وجود دارد. بیش‌ترین مقدار شیب دوره کم‌آبی در ایستگاه نوده (۰/۲۶-) مشاهده شده در حالی‌که ایستگاه رامیان با شیب خط (۰/۲۸-) بیش‌ترین شدت دوره پرآبی را در بین ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه تجربه نموده است. به‌عبارتی در ایستگاه نوده، وقوع کم‌آبی و در ایستگاه رامیان، وقوع پرآبی دارای رژیم پایدارتری است. هم‌چنین، بیش‌ترین تداوم

*۱- گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی. (نویسنده مسؤل). E-mail: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir
۲- گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
۳- گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی مربوط به ایستگاه‌های آق‌قلا (۳۲/۸۹) و بصیرآباد (۱۶/۲۹) در پایین‌دست رودخانه بوده که بیانگر متوسط تداوم با حداکثر احتمال وقوع در ایستگاه‌های مذکور است. نزدیکی پراکندگی نقاط به خط مستقیم و خطوط نزدیک یا موازی بدون تقاطع نشان داد که دوره‌های پرآبی و کم‌آبی در حوزه آبخیز گرگانرود دارای یک رژیم همگن بوده و تغییرات زمانی در آن‌ها چندان قابل ملاحظه نیست. تحلیل دوره‌های کم‌آبی و پرآبی با استفاده از روش تحلیل تابع توانی (Power Laws Analysis) در ایستگاه‌های مختلف حوزه گرگانرود، امکان تعیین رژیم دبی جریان، شدت و تداوم دوره‌های کم‌آبی و پرآبی را فراهم نموده است.

کلید واژه‌ها: الگوی توالی وقوع، پلات لگاریتمی دوگانه، تحلیل تابع توانی، کم‌آبی هیدرولوژیک جریان.

مقدمه

خشکسالی به‌عنوان یکی از پدیده‌های محیطی شناخته شده است و در واقع بخش جدایی‌ناپذیری از تغییرات اقلیمی است که می‌تواند در هر منطقه جغرافیایی حادث شود و تأثیرات عمده‌ای بر آن منطقه بگذارد (Zahedi and Ghavidel Rahimi, 2002: 20; Mostafazadeh et al, 2015: 130). خشکسالی کاهش معنی‌دار آب قابل دسترس در چرخه هیدرولوژیک بوده و از دیدگاه هیدرولوژیست‌ها خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که سطح تراز ذخایر آب‌های سطحی و زیرزمینی از حد معمول پایین‌تر باشد (Tarawneh, 2013: 126; Caloiero et al, 2016: 2). کمبود منابع آب تهدید بزرگی برای اقتصاد و سطح زندگی مردم است و افزایش تقاضا برای منابع آب قابل دسترس موجب تشدید رقابت بهره‌برداران منابع آبی می‌شود که این مسأله باعث گسترش خشکسالی شدید و خیلی شدید می‌شود (Ghavidel Rahimi, 2004: 48; Hisdal and Tallaksen, 2003: 232). پایش خشکسالی فقط براساس یک مشخصه نمی‌تواند شرایط واقعی منطقه را به‌خوبی نشان دهد، بهترین روش پایش خشکسالی تحلیل مشخصه‌های شدت و تداوم به‌صورت توأم می‌باشد به‌طور کلی تکرار، تداوم و شدت خشکی همگی توابعی هستند که به‌طور صریح و یا غیرصریح به مقیاس زمانی وابسته هستند (Mirakbari and Ganji, 2012: 18; Abdulmalek et al, 2013: 315). تعیین توالی دوره‌های کم‌آبی و پرآبی از اهمیت زیادی در مطالعات مرتبط با مدیریت منابع آب به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک برخوردار است. با توجه به این‌که توالی وقوع دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در هر اقلیمی امکان‌پذیر است، بنابراین دوره‌های کم‌آبی و پرآبی یکی از ویژگی‌های بارز اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک می‌باشد که باعث تغییر در مؤلفه‌های بیلان آبی در یک منطقه می‌شود (Karimi et al, 2015: 60; Zolina et al, 2013: 2023)؛ بنابراین برای پایش دوره‌های خشک، ارائه شاخصی که در آن مقیاس زمانی مد نظر قرار گرفته باشد، از اهمیت خاصی برخوردار است و برای تحلیل و بررسی این پدیده و آثار آن بر محیط کاربردهای فراوانی خواهد داشت (Yildiz, 2014: 1178; Mehry et al, 2017: 153).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

پیشینه پژوهش

رابطه فراوانی و تداوم خشکسالی‌های اروپا در مقیاس‌های زمانی مختلف توسط Benjamin and Saunders (2002) مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد که در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت فراوانی خشکسالی و در مقیاس زمانی درازمدت تداوم خشکسالی‌ها بیش‌تر است. Anagnostopoulou et al (2003) دوره‌های خشکی را در کشور یونان با استفاده از آمار ۲۰ ایستگاه در یک دوره ٤٠ ساله در فاصله زمانی سال‌های (۱۹۵۸ تا ۱۹۹۷) مورد بررسی قرار دادند و از دو حد آستانه متفاوت برای تعیین تأثیر تغییرات نسبی توزیع دوره‌های خشک استفاده نمودند. ایشان دوره‌های خشک با ماهیت وقوع فصلی را مشخص و بیان نمودند که توالی متوسط و طولانی‌مدت آن‌ها با خطر خشکسالی همراه است. Tallaksen et al (2009) خصوصیات خشکسالی را با استفاده از مدل‌سازی زمان–مکانی در تعدادی از حوزه‌های انگلستان، با وسعت ۱۷۰ کیلومترمربع مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که خشکسالی هواشناسی با تداوم کوتاه‌مدت (۲–۱ ماهه) تمام حوضه را پوشش داده، در حالی که خشکسالی هیدرولوژیکی در یک مدت زمان طولانی‌تر (٥–٤ ماهه) وسعت کم‌تری از منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. Samiee and Teluari (2008) شدت و تداوم خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه‌های آبخیز استان تهران مورد بررسی قرار گرفت. همبستگی بالا بین تداوم و شدت خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد، که با افزایش سطح آستانه شدت خشکسالی، تداوم وقایع خشکی بیش‌تر می‌شود. Khosravei and Akbarei (2009) به ارزیابی ویژگی‌های شدت، تداوم و وسعت خشکسالی خراسان جنوبی پرداختند و ضمن شناسایی نواحی مستعد با ضریب بالای خشکسالی، دوره‌های شدید خشکسالی حادث شده در دوره اخیر را مشخص نمودند Asakereh and Mazinei (2010) احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان را با استفاده از مدل زنجیره مارکوف مورد مطالعه قرار داده و بیان داشتند که احتمال تداوم روزهای خشک در ناحیه پرباران جنوبی استان بسیار کم‌تر از روزهای مشابه در ناحیه کم‌باران شمالی است.

Mostafazadeh et al (2016) با تحلیل وقوع داده‌های بارندگی ماهانه ماه‌های پرباران و کم‌باران در استان گلستان با استفاده از روش آنالیز توانی، الگوی تداوم دوره‌های ماهانه خشک و مرطوب در هر ایستگاه را محاسبه نمودند. نتایج ایشان نشان داد که وقوع طولانی‌ترین دوره کم‌باران (۹ ماه) در مرکز استان گلستان در ایستگاه‌های تمر و مینودشت به‌ترتیب با ٦ و ٥ بار تکرار، اتفاق افتاده است. همچنین در دوره‌های سه ماهه متوالی و طولانی‌تر، تعداد وقوع دوره‌های کم‌باران در ایستگاه‌های واقع در بخش شمالی استان گلستان اتفاق افتاده است. Mostafazadeh al et (2017) تحلیل الگوهای دوره‌های کم‌آبی و پرآبی جریان رودخانه‌ای در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان مازندران را با استفاده از روش آنالیز توانی مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور، خصوصیات دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در سری‌های زمانی دبی ماهانه در ٢٦ ایستگاه هیدرومتری استان مازندران طی دوره آماری ٣٦ ساله مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین شدت وقوع و تداوم دوره‌های کم‌آبی و پرآبی رابطه مستقیم وجود دارد. کم‌ترین شدت دوره‌های کم‌آبی و پرآبی مربوط به ایستگاه‌های پلور و هنیسک به‌ترتیب با مقادیر شیب‌خط

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

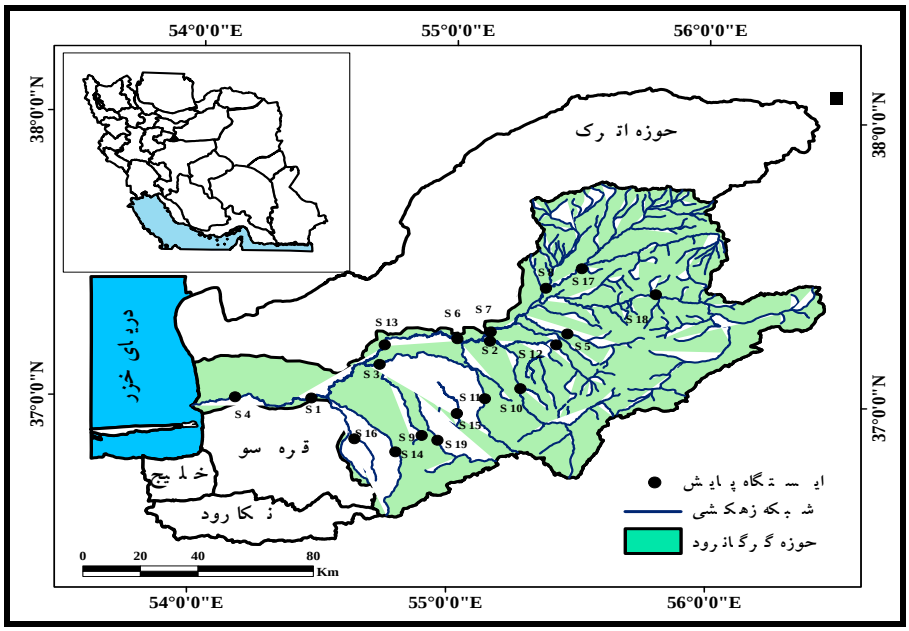
۰/۸۷- و ۱/۲۹- در جنوب‌غربی و غرب استان می‌باشند. براساس نتایج، بیش‌ترین تداوم جریان با مقادیر ۱۲۲/۰۹ و ۱٤٥/۸۹ برای دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در ایستگاه قرآن تالار در مرکز استان به وقوع پیوسته است. به‌عبارتی می‌توان گفت که ایستگاه‌های واقع در سرشاخه اصلی جنوب شرقی و مرکز مازندران دارای تداوم جریان کم‌آبی و پرآبی بیش‌تری در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها هستند.

تحلیل تابع توانی برگرفته از تئوری فرکتال می‌باشد و چون با هندسه اقلیدوسی که دارای ابعاد صحیح می‌باشد، نمی‌توان بسیاری از پدیده‌های طبیعت را توصیف کرد، لذا هندسه فرکتالی می‌تواند مفید واقع گردد. در هندسه فرکتالی، ابعاد پدیده‌ها می‌تواند دارای اعداد کسری هم باشد. خشکسالی به‌عنوان یکی از پدیده‌های هیدرولوژیک، دارای خاصیت توالی وقوع و تکرار بوده و در توالی‌های متفاوت دارای خاصیت خود تشابهی است و می‌توان ارتباط میان تعداد و تداوم وقوع دوره‌های پرآبی و کم‌آبی را با استفاده از روش تحلیل تابع توانی جستجو نمود. از آنجا که روش تحلیل تابع توانی با مفاهیم احتمالاتی دوره‌های کم‌آبی و پرآبی مرتبط است، در واقع از مشکلاتی هم‌چون نرمال بودن داده‌ها، مقادیر حدی و سایر اثرات آن مستثنی است. در این روش به‌جای تغییرات مقادیر فصلی یا سالانه، رژیم‌های دبی مورد توجه قرار می‌گیرد. فراوانی وقوع خشکسالی‌ها در استان گلستان به‌دلیل وجود تنوع آب و هوایی متفاوت خواهد بود. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، کاربرد مفهوم تحلیل تابع توانی با استفاده از نمودارهای دوگانه لگاریتمی در ارزیابی دوره‌های پرآبی (دبی بیش‌تر از مقدار میانگین) و کم‌آبی (دبی کم‌تر از مقدار میانگین) براساس داده‌های مشاهداتی در یک دوره آماری ۳۸ است. همچنین در این تحقیق شدت و تداوم، وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی جریان مورد تحلیل قرار گرفته است.

- منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، استان گلستان به‌عنوان واحد مطالعاتی در نظرگرفته شده است. استان گلستان از نظر گستردگی، تنوع توپوگرافی، نوع کاربری‌های اراضی دارای ناهمگنی بالایی است که خصوصیات و وقوع زمانی و مکانی دوره‌های خشک و مرطوب را متاثر می‌سازد. استان گلستان با مساحتی حدود ۲۰٤۳۸ کیلومتر مربع در شمال‌شرق کشور و در محدوده‌ی جغرافیایی ′۵۰ °۵۳ تا ′۱۸ °۵٦ طول شرقی و ′۲۵ °۳٦ تا ′۰۸ °۳۸ عرض شمالی واقع شده است. توپوگرافی و خصوصیات متفاوت بارش و نیز شرایط آب و هوایی در منطقه باعث تنوع قابل توجه شرایط اقلیمی شده است. استان گلستان در طبقه‌بندی دومارتن دارای اقلیم‌هایی متفاوت می‌باشد که در این طبقه‌بندی، نوار شمالی استان دارای اقلیم خشک و نوار پایین‌تر آن دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد. هم‌چنین دو ناحیه بسیار مرطوب در داخل ناحیه‌های مرطوب و پنج ناحیه مرطوب در داخل ناحیه‌های نیمه‌مرطوب قرار دارد (Mosaedi et al, 2008: 178; Mostafazadeh and Sheikh, 2010: 81). موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده در پژوهش حاضر در (شکل ۱)، ارائه شده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز گرگانرود و محل ایستگاه‌های پایش در ایران و استان گلستان

مواد و روش‌ها

با توجه به وجود ایستگاه‌ها در مناطق مختلف استان و در شرایط آب‌وهوایی تقریباً مختلف و هم‌چنین طولانی بودن طول دوره آماری مورد استفاده، کاربرد روش تحلیل تابع توانی[4]، امکان بررسی وضعیت دوره‌های پرآبی و کم‌آبی را در منطقه مورد مطالعه میسر می‌سازد. برای انجام این پژوهش، براساس طول دوره آماری ۳۸ ساله (۱۳۹۱-۱۳۵۳) و نیز کامل بودن داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌ها، تعداد ۲۰ ایستگاه هیدرومتری شرکت مدیریت منابع ایران که بر رودخانه‌های قسمت‌های مختلف استان واقع شده‌اند، انتخاب گردید که مشخصات آن‌ها در (جدول ۱)، ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان گلستان

ردیف	رودخانه	نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی			متوسط دبی (مترمکعب بر ثانیه)
			X	Y	Z	
۱	دوغ (مادرسو)	تنگراه	۳۹۳۵٤۱	٤۱۳۹٥٥۷	۳۳۰	۱/٤٥
۲	گرگانرود	تمر	۳٦۷۹۱۱	٤۱٤۹٦۸۳	۱۳۲	۱/٥۷
۳	اوغان	گالیکش	۳٦۲۸۷۳	٤۱۲٤۲۱۰	۲٥۰	۲/٥۹
٤	قلی‌تپه	قلی‌تپه	۳٥۹٥٤۸	٤۱۲۱۹۳۲	۲٥۰	۰/٥۰
٥	گرگانرود	گنبد	۳۳٦۲۳٦	٤۱۲٤۹۹٦	۳٦	۷/٥۱
٦	چهل‌چای	لزوره	۳٥۸۲٥۸	٤۱۲۰۹٦٥	۱۹۰	۲/۰٦
۷	خرمالو	نوده	۳٤٦٦۱۷	٤۱۰۲۹٥۳	۲۸۰	۲/۲۱

4- Power Laws Analysis

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ۱- خصوصیات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در استان گلستان

ردیف	رودخانه	نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی			متوسط دبی (مترمکعب برثانیه)
			X	Y	Z	
۸	گرگانرود	ارازکوسه	۳۳۶۱۳۲	٤۱۲۱٤۱٤	۳۵	۵/۵۸
۹	قره‌چای	رامیان	۳۳٤۲۳٤	٤۰۹۸۸۹۹	۲۰۰	۱/۲۲
۱۰	گرگانرود	قزاقلی	۳۲٤۳۷۲	٤۱۲۱۹۹۳	۳۰	۱۲/۹۳
۱۱	گرگانرود	سدگرگان	۲۹۹۵۱۰	٤۱۱۹۹۵۸	۱۲	۸/۹۳
۱۲	سیاه‌جوی	شیرآباد	۳۲٤۹۲۸	٤۰۹۲۹۸۲	۱٦۰	۰/٦۰
۱۳	گرگانرود	باغه‌سالیان	۲۹۸۱۳۷	٤۱۱۲۱۳۷	۲۰	۳/۵۱
۱٤	جعفرآباد	تقی‌آباد	۲۸۸۹۸٦	٤۰۸۳۲۳۹	۱۰۰	۰/٤۰
۱۵	گرگانرود	آق‌قلا	۲۷٤۰۹٦	٤۰۹۹۱۹٤	-۱۲	۱۳/۰۹
۱٦	گرگانرود	بصیرآباد	۲٤۷٦٤۵	٤۰۹۹٦٤٤	-۲۱	۱۲/٦۱
۱۷	گرگانرود	حاجی‌قوشان	۳۵٦۱٦۹	٤۱٤۲۷۸۹	٤۵	۲/۷٦
۱۸	نرماب	پس‌پشته	۳۵۳۵۰۵	٤۱۱٤٦۳٦	۱۸۰	۲/۱۱
۱۹	زرینگل	زرینگل	۳۱۷۷۸۳	٤۰۸۲٦۷۲	۲۸۰	۲/۰٤
۲۰	محمدآباد	سرمو	۳۰۳۲۱۰	٤۰۷۸۱۵۹	۵۰۰	۱/۱٦

- روش تحلیل تابع توانی

کاربرد شاخص‌های خشکسالی در خلاصه‌سازی بسیاری از پارامترهای مؤثر در خشکسالی در برنامه‌ریزی‌های منابع آب مفید است و هم‌چنین توسط شاخص‌های خشکسالی می‌توان شدت، تداوم، فراوانی و وسعت خشکسالی را کمی نمود و ارزیابی کرد (Shafiei et al, 2011: 154; Mishra and Singh, 2010: 204). دوره‌های کم‌آبی و پرآبی به‌صورت متوالی و متناوب تکرار می‌گردند (Bordi et al, 2004: 81). قبل از استفاده از روش تحلیل تابع توانی باید دوره‌های خشک و مرطوب مشخص گردد. دوره‌های کم‌آبی و پرآبی می‌تواند در مقیاس‌های زمانی متفاوت در نظر گرفته شود که در پژوهش حاضر مبنای ماهانه انتخاب شده است (Shahrokh Wandi et al, 2009: 145; Cindric et al, 2010: 175) نقاط مهم در تعیین آستانه یک سری از داده‌ها برای تعیین دوره‌های کم‌آبی و پرآبی، نقاطی است که رویدادهای بارش از دوره‌های کم‌آبی و پرآبی و بالعکس تغییر می‌کنند. حد آستانه نقش مهمی را در تفکیک دوره‌های کم‌آبی و پرآبی ایفاء می‌نماید. برای تعیین شروع و پایان دوره‌های کم‌آبی و پرآبی جریان، میانگین دبی و دبی موثر محاسبه گردید (Sen, 2008; Herbst et al, 2009: 266). در روش مذکور میانگین‌های هر ماه (۱۲ ماه) در کل دوره آماری (۳۸ ساله) به‌عنوان حد آستانه انتخاب و از تفاوت بین میانگین دبی و دبی مؤثر دوره‌های کم‌آبی و پرآبی تعیین گردید. سپس در این مرحله، مقادیر مثبت و منفی پس از کم نمودن مقادیر دبی هر ماه از مقدار میانگین مقادیر دبی ماهانه، به‌صورت یک سری داده به‌دست آمد (Herbst et al, 2009: 267; Esfandyari et al, 2016: 57). در نتیجه پس از محاسبه تفاضل مقادیر دبی ماهانه از میانگین درازمدت تعداد دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در طول کل

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

دوره آماری به‌ترتیب از کم‌ترین مقیاس زمانی (۱ ماهه) تا بیش‌ترین آن (۳۰ ماهه) برای هر ایستگاه محاسبه گردید که با افزایش مقیاس زمانی، تعداد وقوع دوره‌های کم‌آبی یا پرآبی کاهش می‌یابد. نتایج روش تحلیل تابع توانی براساس روابط (۱) و (۲) به‌دست آمد (Sen, 2008; Clauset et al, 2009: 666).

رابطه (۱) $$T_w = y_w N_w^{-x_w}$$

رابطه (۲) $$T_d = y_d N_d^{-x_d}$$

که در آن T_w و T_d به‌ترتیب مقیاس زمانی دوره‌های پرآبی و کم‌آبی، N_w و N_d به‌ترتیب تعداد دوره‌های پرآبی و کم‌آبی می‌باشند و پارامترهای y_w، x_w، y_d و x_d به خصوصیات دوره‌های پرآبی و کم‌آبی بستگی دارند. برآورد این پارامترها با استفاده از نمودار لگاریتمی دوگانه بر روی یک خط مستقیم امکان‌پذیر است. بر روی نمودار لگاریتمی دوگانه مقادیر ثابت و شیب خط رابطه مذکور به‌صورت خط مستقیم در خواهد آمد که نشان‌دهنده مقادیر y و x هستند (Sen, 2008; Mostafazadeh et al, 2017: 1078). خط برازش مناسب میان پراکندگی نقاط تعداد دوره‌های پرآبی و کم‌آبی به روش کم‌ترین مربعات رسم گردید که براساس میزان نزدیکی پراکندگی نقاط به خط برازش داده شده، امکان تفسیرهای متفاوت براساس الگوی قرارگیری خطوط مربوط به دوره‌های پرآبی و کم‌آبی بر روی پلات لگاریتمی دوگانه، فراهم می‌گردد (شکل ۳). روش خط مستقیم رگرسیونی، بهترین خط برازش بر روی پلات لگاریتمی دوگانه مبنای تعیین دوره‌های کم‌آبی و پرآبی، می‌باشد (Bazuhair et al, 1997: 307; Kadioghlu and Sen, 1998: 101; Sen, 2008). در این مرحله شدت و تداوم دوره‌های کم‌آبی و پرآبی برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه گردید (جدول ۲). سپس الگوی تغییرات شدت و تداوم برای دوره کم‌آبی با استفاده از نرم‌افزار ArcMap به‌صورت (شکل‌های ٤ و ٥) درون‌یابی گردید. ارائه نقشه‌های مکانی، صرفاً تحلیل مجاورت مناطق تحت تأثیر شدت و تداوم خشکسالی در مناطق دارای آمار بوده است و از آنجا که تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری در منطقه مورد مطالعه به‌صورت متوالی بر روی رودخانه‌های اصلی قرار گرفته‌اند، لذا براساس آمار ایستگاه‌های انتهائی، باید تنها یک شدت یا تداوم برای کل منطقه اختصاص داده می‌شد، بر این اساس سعی شده است که تغییرات مقادیر در نقاط ایستگاه‌ها مدنظر قرار گیرد.

یافته‌ها و بحث

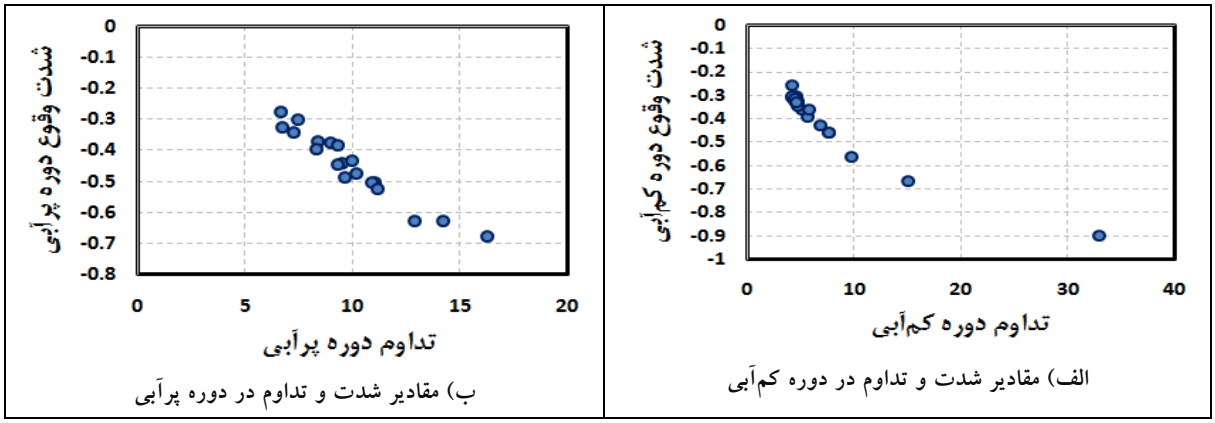
براساس توالی دوره‌های کم‌آبی و پرآبی، تعداد و تکرار هر کدام از دنباله‌ها در طول دوره آماری تعیین گردید که نتایج در (جدول ۲)، ارائه شده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۲- شدت و تداوم دوره‌های کم‌آبی و پرآبی به ازای مقیاس‌های مختلف ماهانه در ایستگاه‌های هیدرومتری استان گلستان

ایستگاه	کم‌آبی		پرآبی	
	شدت	تداوم	شدت	تداوم
نوده خاندوز	-۰/۲۶	۴/۲۳	-۰/۳۳	۶/۷۵
لزوره	-۰/۳۶	۵/۱۷	-۰/۵۱	۱۱/۰۵
گنبد	-۰/۴۶	۷/۷۰	-۰/۴۴	۹/۴۹
گالیکش	-۰/۳۳	۴/۴۲	-۰/۳۸	۸/۹۹
قلی‌تپه	-۰/۳۱	۴/۱۷	-۰/۴۴	۱۰/۰۱
قزاقلی	-۰/۴۶	۷/۶۵	-۰/۴۷	۱۰/۱۹
شیرآباد	-۰/۳۰	۴/۶۴	-۰/۴۵	۹/۳۰
سرمو	-۰/۳۲	۴/۷۱	-۰/۳۰	۷/۴۶
سدگرگان	-۰/۳۲	۴/۶۶	-۰/۶۳	۱۴/۲۳
زرینگل	-۰/۳۱	۴/۱۵	-۰/۳۷	۸/۳۸
رامیان	-۰/۳۴	۴/۷۷	-۰/۲۸	۶/۶۷
حاجی‌قوشان	-۰/۳۹	۵/۷۰	-۰/۵۰	۱۰/۹۱
تنگراه	-۰/۳۵	۴/۷۰	-۰/۳۸	۹/۳۱
تمر	-۰/۴۳	۶/۸۲	-۰/۴۰	۸/۳۰
پس‌پشته	-۰/۳۲	۴/۴۲	-۰/۴۹	۹/۶۸
تقی‌آباد	-۰/۳۳	۴/۶۵	-۰/۶۳	۱۲/۹۲
بصیرآباد	-۰/۶۷	۱۵/۱۱	-۰/۶۸	۱۶/۲۹
باغ سالیان	-۰/۵۶	۹/۷۳	۰/۶۸	۱۵/۰۰
آق‌قلا	-۰/۹۰	۳۲/۸۹	-۰/۵۳	۱۱/۱۷
ارازکوسه	-۰/۳۶	۵/۷۶	-۰/۳۴	۷/۲۵

براساس نتایج (جدول ۲)، بیش‌ترین شدت کم‌آبی مربوط به ایستگاه نوده با مقدار شیب (۰/۲۶-) می‌باشد. در حالی که کم‌ترین مقدار شدت کم‌آبی مربوط به ایستگاه آق‌قلا (۰/۹۰-) می‌باشد.



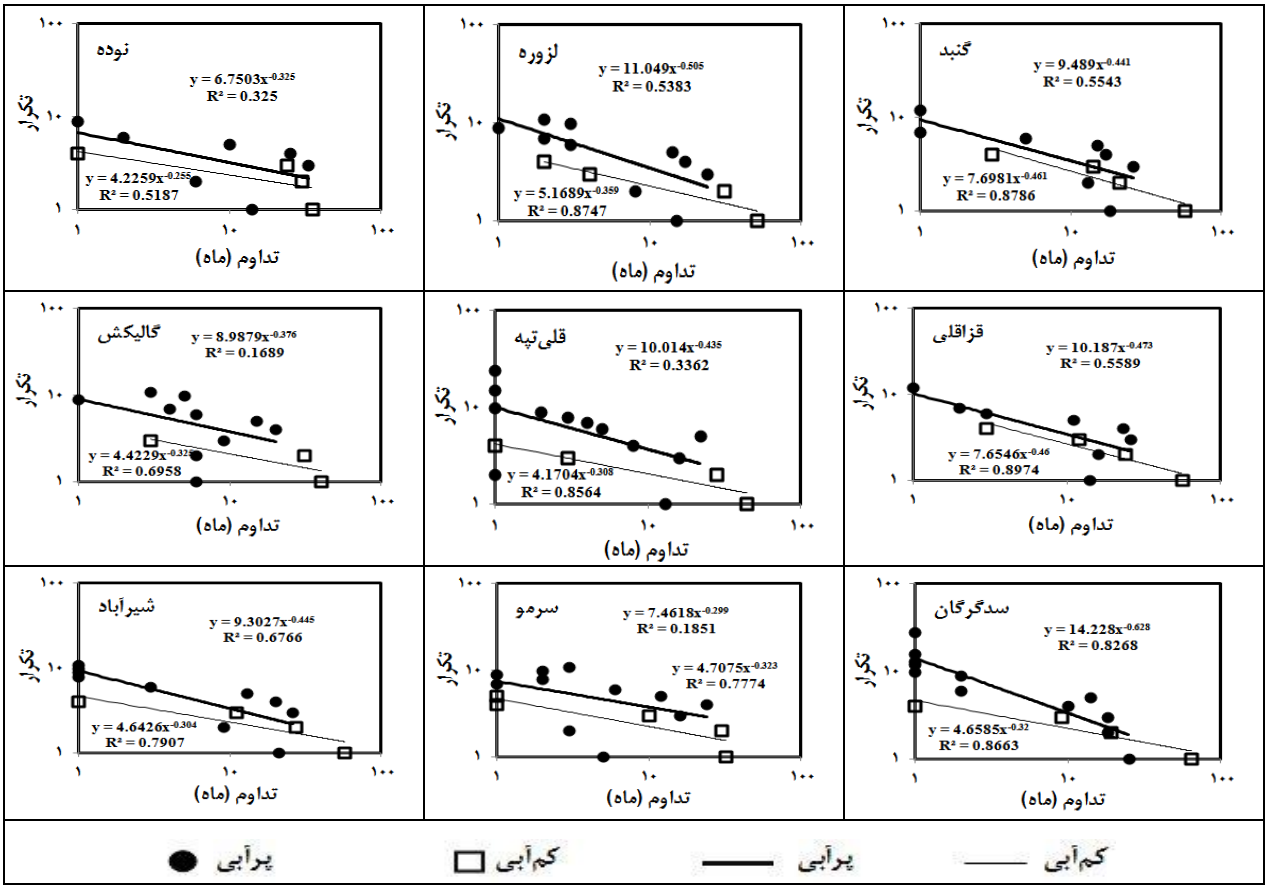
الف) مقادیر شدت و تداوم در دوره کم‌آبی

ب) مقادیر شدت و تداوم در دوره پرآبی

شکل ۲: تغییرات مقادیر شدت وقوع و تداوم در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه گرگانرود

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

هم‌چنین مقادیر شدت وقوع و تداوم در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در (شکل ۲) نشان می‌دهد که ایستگاه‌هایی با مقدار شدت بالا دارای مقدار تداوم کم‌تری در آن ایستگاه است. به‌عبارتی در هر دو دوره کم‌آبی و پرآبی، بین شدت وقوع و تداوم رابطه عکس وجود دارد. نمودار لگاریتمی دوگانه طول دوره‌های کم‌آبی و پرآبی، به‌ازای فراوانی وقوع در (شکل ۳) نشان داده شده است که خطوط رگرسیونی متناسب با هر دوره در هر ایستگاه برازش داده شده است.

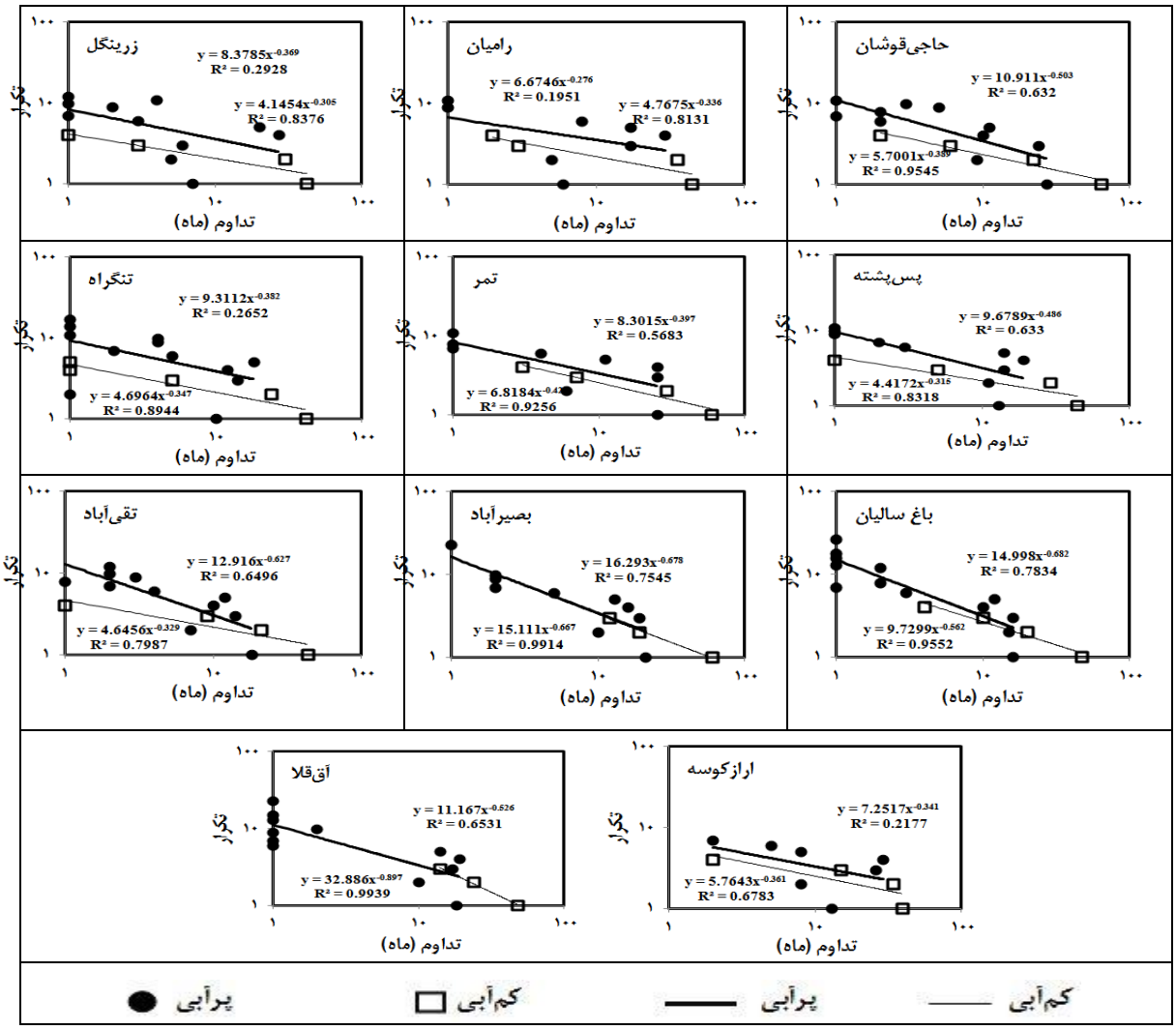


شکل ۳: پلات لگاریتمی دوگانه تعداد وقوع دوره‌های مختلف کم‌آبی و پرآبی در ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه گرگانرود

به‌عنوان مثال در ایستگاه حاجی‌قوشان تعداد دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در یک دوره متوالی ۱ ماهه، به‌ترتیب ٦٤ و ۲۷ تکرار در حالی که در یک دوره متوالی ٤ ماهه به‌ترتیب برابر ۲ و ۱۰ وقوع در کل دوره آماری (۳۸ ساله) است. با توجه به موارد مذکور، می‌توان دریافت که رابطه معکوسی بین مدت و تعداد وقوع ماه‌های متوالی کم‌آبی و پرآبی وجود دارد، بدین ترتیب که با افزایش مدت دوره مورد نظر از تعداد وقوع ماه‌های متوالی کم‌آبی و پرآبی کاسته می‌گردد. با توجه به ارتفاع از سطح دریا و تأثیر وقوع بارش‌های کوهستانی نسبتاً تعداد دوره‌های کم‌آبی نسبت به دوره‌های پرآبی کم‌تر است و به‌عبارتی دوره‌های پرآبی طولانی‌تری به وقوع می‌پیوندند. سپس با افزایش طول مبنای زمانی، تعداد تکرار دنباله‌های کم‌آبی و پرآبی کاهش می‌یابد. بررسی تعداد وقوع دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد که در مجموع در دوره‌های یک ماهه، تعداد وقوع دوره‌های کم‌آبی از پرآبی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در تمامی ایستگاه‌ها بیش‌تر است ولی در دوره‌های دوماهه متوالی یا بیش‌تر، حالت عکس دارد و تعداد وقوع دوره‌های پرآبی بیش‌تر است.



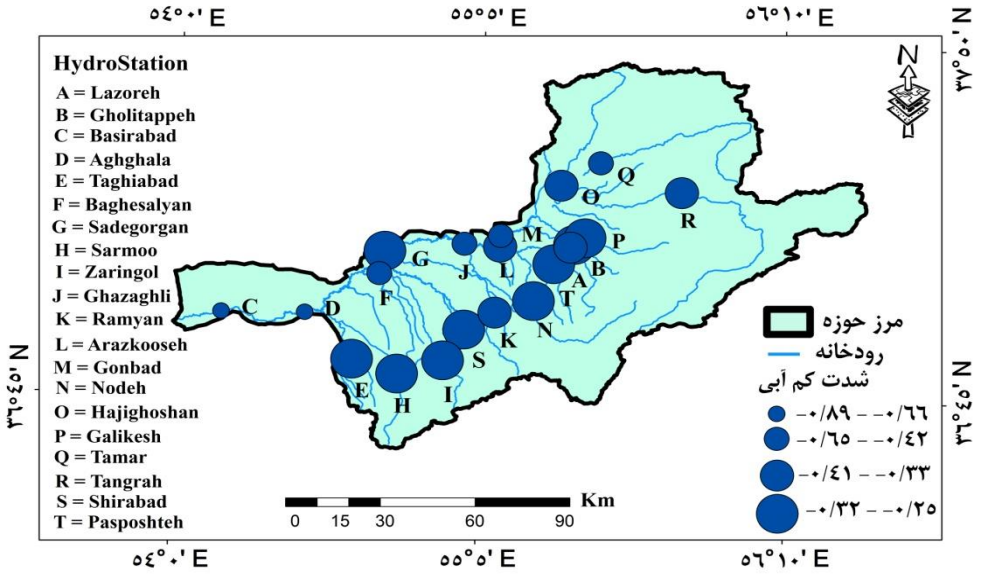
ادامه شکل ۳: پلات لگاریتمی دوگانه تعداد وقوع دوره‌های مختلف کم‌آبی و پرآبی در ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه گرگانرود

در تفسیر نمودارهای لگاریتمی دوگانه و خطوط برازش داده شده رگرسیونی، نکات زیر می‌تواند مدنظر قرار گیرد. نزدیکی پراکندگی نقاط به خط مستقیم نشان می‌دهد که دوره‌های کم‌آبی و پرآبی دارای یک رژیم همگن می‌باشند. خطوط نزدیک یا موازی بدون تقاطع دو دوره مختلف بیانگر عدم تغییرات زمانی در مقادیر دبی است و هر گونه انحراف منظم از خط مستقیم بیانگر شرایط غیریکنواخت است. شیب خط مستقیم بر روی پلات لگاریتمی دوگانه با وقوع نامنظم دوره‌های کم‌آبی مرتبط است. با کاهش طول بازه‌های زمانی دوره‌ها، برآورد کل دوره‌های کم‌آبی دقیق‌تر خواهد بود. در روش آنالیز توانی، شیب بیش‌تر خطوط مستقیم مشخص کننده شدت دوره‌های کم‌آبی و پرآبی است. عدم تلاقی خطوط دوره‌های کم‌آبی و پرآبی نشان می‌دهد که دوره‌های مذکور همیشه کوتاه‌تر یا بلندتر از یکدیگر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

هستند. اگر خط مربوط به دوره پرآبی بالاتر از خط مربوط به دوره کم‌آبی قرار گیرد، ایستگاه مورد نظر در شرایط پرآبی واقع شده است، در غیر این‌صورت کم‌آبی غالب خواهد بود. اگر این خطوط به همدیگر خیلی نزدیک باشند، ایستگاه در شرایط بینابینی قرار دارد و بستگی به اقلیم منطقه در منطقه نیمه‌مرطوب (نیمه‌خشک) واقع شده است. با استفاده از روش مذکور امکان برآورد طولانی‌ترین دوره‌های کم‌آبی یا پرآبی در منطقه وجود دارد. خطوط مستقیم برازش داده شده بر روی پلات لگاریتمی دوگانه، مبنای مدل تعیین دوره‌های کم‌آبی و پرآبی خواهد بود.

الگوی تغییرات شدت دوره‌های کم‌آبی حوزه گرگانرود در (شکل ٤) ارائه شده است.

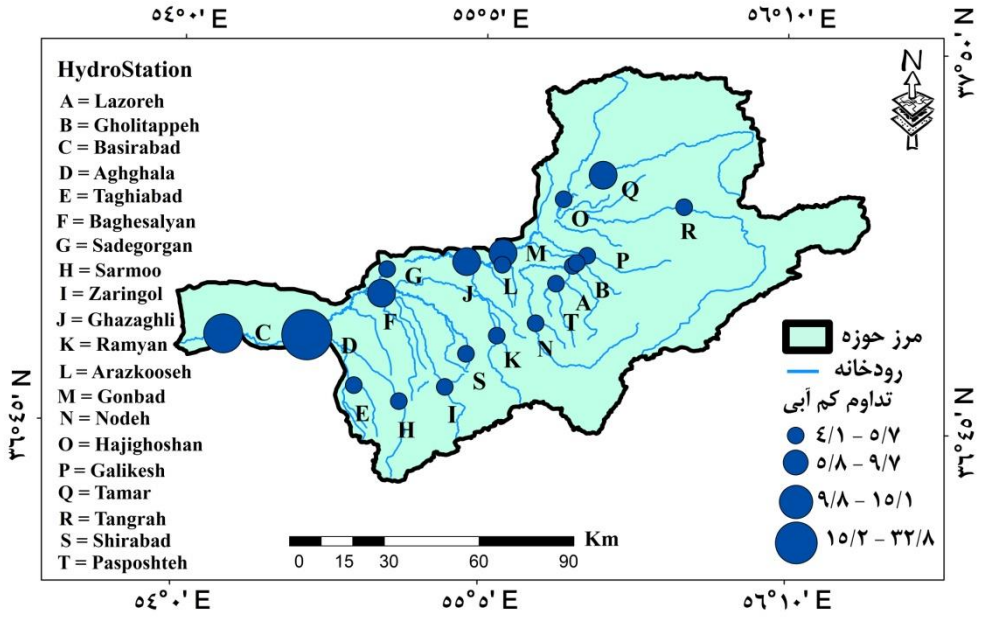


شکل ٤: تغییرات مقادیر شدت کم‌آبی ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز گرگانرود

براساس نتایج نشان داده شده، در روش آنالیز توانی، شیب بیش‌تر خطوط مستقیم مشخص کننده شدت دوره‌های کم‌آبی و پرآبی است. براساس مقادیر شیب خطوط مستقیم دوره‌های کم‌آبی، وقوع دوره‌های خشکی در ایستگاه‌های نوده واقع در مناطق بالادست (با مقدار شیب خط ۰/۲٦-) و آق‌قلا در پایین‌دست حوزه (با مقدار شیب خط ۰/۹۰-) به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر شدت کم‌آبی نسبت به سایر ایستگاه‌ها می‌باشند، هم‌چنین مشاهده می‌شود که ایستگاه‌های واقع در پایین‌دست حوزه با بیش‌ترین مقدار دبی، دارای کم‌ترین شدت کم‌آبی هستند.

مقادیر تداوم جریان در دوره‌های کم‌آبی در ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه در (شکل ٥) ارائه شده است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۵: تغییرات مقادیر تداوم کم‌آبی ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز گرگانرود

بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار تداوم جریان کم‌آبی در (شکل ٤)، به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های آق‌قلا (با مقادیر ۳۲/۸۹) در پایین‌دست و زرینگل (با مقادیر ٤/۱۵) در بالادست رودخانه می‌باشد، علاوه بر این مشاهده می‌شود که الگوی تغییرات مکانی مقادیر تداوم جریان نشان می‌دهد که عموماً ایستگاه‌های بالادست، به‌دلیل دبی پایین‌تر، دارای تداوم جریان کم‌آبی کم‌تری در مقایسه با سایر ایستگاه‌های پایین‌دست هستند.

نتیجه‌گیری

تحلیل دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در مقیاس ماهانه، اطلاعات مناسبی را در خصوص برنامه‌ریزی برای فعالیت‌های کشاورزی، آبیاری و پروژه‌های هیدرولوژیک فراهم می‌نماید. در پژوهش حاضر رفتار دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در ۲۰ ایستگاه واقع در استان گلستان به وسیله روش تحلیل تابع توانی (Power Laws Analysis) مورد ارزیابی قرار گرفته است. با استفاده از نمایش گرافیکی پلات لگاریتمی دوگانه، ترکیب متغیرهای مختلف برای تحلیل رفتار آن‌ها در یک فضای دو بعدی فراهم شده است (Sirdas and Sen, 2003: 817). شیب خطوط مستقیم بر روی پلات لگاریتمی دوگانه (شکل ۳) نشان‌دهنده شدت وقوع دوره‌های کم‌آبی و پرآبی است. عدم تلاقی خطوط دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در ایستگاه‌های نوده، لزوره، گالیکش، قلی‌تپه، شیرآباد، زرینگل، رامیان، سرمو، حاجی‌قوشان، تنگراه، پس‌پشته و ارازکوسه نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های مذکور، تداوم دوره‌های پرآبی بیش‌تر از تداوم دوره‌های کم‌آبی است. هم‌چنین در ایستگاه‌های مذکور خط مربوط به دوره پرآبی بالاتر از خط مربوط به دوره کم‌آبی قرار گرفته و در نتیجه ایستگاه‌های مورد نظر در شرایط مرطوب واقع شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود این خطوط در

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ایستگاه‌های قزاقلی، گنبد، باغ سالیان و تمر به همدیگر خیلی نزدیک می‌باشند، بیانگر عدم تغییرات قابل ملاحظه زمانی در مقدار دبی رودخانه بوده و منطقه در شرایط بینابینی قرار دارد و براساس اقلیم منطقه که دوره پرآبی بالاتر از کم‌آبی بوده، در منطقه نیمه‌مرطوب واقع شده است. در ایستگاه‌های سدگرگان و تقی‌آباد انحراف منظم از خط مستقیم بیانگر شرایط غیریکنواخت است. تحلیل ارتباط بین مقادیر شدت کم‌آبی در ایستگاه‌های مختلف در شکل (٤) نشان داد که بیش‌ترین شدت در ایستگاه نوده (با مقدار شیب خط ۰/۲٦) واقع در بالادست حوزه مشاهده شد که به‌معنی، شدت بالای وقوع دوره کم‌آبی و هم‌چنین کم‌ترین شدت در ایستگاه آق‌قلا (با مقدار شیب خط ۰/۹۰-) در پایین‌دست حوزه نیز تصادفی بودن وقوع ماه‌های کم‌آبی را نشان می‌دهد. به‌عبارتی می‌توان گفت که شدت دوره‌های کم‌آبی در ایستگاه‌های واقع در مناطق بالادست بیش‌تر است. دلیل این امر را می‌توان با دبی پایین رودخانه در سرشاخه‌های بالادست دانست، به‌عبارتی در اکثر رودخانه‌های بالادست، فقط در ماه‌های مرطوب سال دبی در رودخانه جریان دارد و در بقیه ماه‌ها مقدار دبی کم‌تر از میانگین درازمدت و یا رودخانه خشک می‌باشد که در محاسبه توالی‌ها شدت بیش‌تری برای دوره‌های کم‌آبی در نظر گرفته می‌شود. در خصوص ارتباط تداوم (مدت) کم‌آبی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در (شکل ۵)، می‌توان گفت که بیش‌ترین و کم‌ترین تداوم دوره‌های کم‌آبی به‌ترتیب در ایستگاه‌های آق‌قلا (با مقادیر ۳۲/۸۹) در پایین‌دست و زرینگل (با مقادیر ٤/۱۵) در بالادست رودخانه می‌باشد، در مجموع مقدار عددی تداوم بیانگر متوسط تداوم ماهانه با حداکثر احتمال وقوع در ایستگاه مذکور است. ایستگاه‌های واقع در سرشاخه اصلی گرگانرود که براساس میانگین درازمدت دارای دبی بیش‌تر بوده‌اند، دچار کم‌آبی بیش‌تر شده‌اند که دلیل آن را می‌توان بالا بودن بهره‌برداری از چاه‌های اطراف رودخانه اصلی و یا تأثیر سدهای احداث شده در منطقه مورد مطالعه مرتبط دانست. از طرفی در مناطق بالادست که اکثراً از حوزه‌های آبخیز جنگلی تغذیه می‌شوند، جریان رودخانه‌ای کم‌تر دستخوش تغییرات بوده و تداوم کم‌آبی در آن‌ها به میزان کم‌تری مشاهده شده است؛ که با نتایج Benjamin and Saunders (2002), Khosravei and Akbarei (2009), Asakereh and Mazinei (2010) در یک راستا است. در مجموع نتایج پژوهش حاضر تنوع و فراوانی وقوع دوره‌های کم‌آبی در حوزه آبخیز گرگانرود را به‌دلیل تفاوت شرایط آب و هوایی و توپوگرافی مورد تائید قرار می‌دهد. براساس نتایج، می‌توان در مناطق پرآب در خصوص استفاده از جریان مازاد در رودخانه‌ها برنامه‌ریزی نمود و علاوه بر این مناطقی با شدت بالای وقوع خشکسالی می‌تواند در برنامه‌ریزی جهت کنترل بهره‌برداری از منابع آب‌های سطحی مدنظر قرار گیرد. قابل ذکر است که روش آنالیز توانی قابلیت استخراج الگوی زمانی و مکانی شدت و تداوم دبی ماهانه را در ایستگاه‌های مختلف دارا می‌باشد. اقدامات مدیریت آب می‌تواند از سطح پایین‌تر شدت خشکسالی شروع شود و زمان کافی را برای کنترل و تنظیم آب در اختیار قرار دهد. تحلیل خشکسالی با استفاده از روش تحلیل تابع توانی نشان می‌دهد که در سایر مناطق مختلف اقلیمی، امکان تعیین رژیم دبی جریان، شدت و تداوم دوره‌های کم‌آبی و پرآبی فراهم شود؛ بنابراین برای تعیین دوره‌های کم‌آبی و پرآبی می‌توان به تولید آب و برنامه‌ریزی کشت، توصیف کمی خشکسالی، سیل‌خیزی و پیش‌بینی و ارزیابی وقوع سیل‌ها اشاره نمود. هم‌چنین با برنامه‌ریزی اصولی باید

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

حداکثر بهره‌برداری از منابع آب سطحی با توجه به اولویت‌ها و نیز وقوع خشکسالی‌ها عملی شود. برای نیل به این هدف شناخت دوره‌های خشکسالی، تعیین مناطق تحت تأثیر خشکسالی، برآورد شدت خشکسالی و شناخت عوامل مؤثر بر شدت خشکسالی ضروری است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Abdulmalek, A., Asheikh, A., Tarawneh, Q. Y., (2013), "An analysis of dry spells patterns intensity and duration in Saudi Arabia", ***Middle-East Journal of Scientific Research***, 13 (3): 314-327.
- Anagnostopoulou, Ch., Maheras, P., Karacostas, T., Vafiadis, M., (2003), "Spatial and temporal analysis of dry spells in Greece", ***Journal of Theoretical and Applied Climatology***, 57: 165-179.
- Asakereh, H., Mazinei, F., (2010), "Investigation of dry days occurrence probability in Golestan province using Markove Chain model", ***Geography and Development Iranian Journal***, 8 (17): 29-44. [In Persian].
- Bazuhair, S. A., Gohani, A., Sen, Z., (1997), "Determination of monthly wet and dry periods in Saudi Arabia", ***International Journal of Climatology***, 17: 303-311.
- Benjamin, L. H., Saunders, A., (2002), "A drought climatology for Europe", ***International Journal of Climatology***, 22: 1571-1592.
- Bordi, H., Fraedrich, K., Jiang, J. M., Suteral, A., (2004), "Spatio-temporal variability of dry and wet periods in eastern China", ***Journal of Theoretical and Applied Climatology***, 79 (1-2): 81-91.
- Caloiero, T., Sirangelo, B., Coscarelli, R., Ferrari, E., (2016), "An analysis of the occurrence probabilities of wet and dry periods through a stochastic monthly rainfall model", ***Water***, 8 (39): 1-21.
- Cindric, K., Pasaric, Z., Gajic-Capka, M., (2010), "Spatial and temporal analysis of dry spells in Croatia", ***Theoretical and Applied Climatology***, 102 (1-2): 171-184.
- Clauset, A., Shalizi, C. R., Newman, M. E. J., (2009), "Power-law distributions in empirical data", ***Society for Industrial and Applied Mathematics***, 51(4): 661-703.
- Esfandyari, F., Mostafazadeh, R., Faghezadeh, P., (2016), "Comparison of temporal variations in monthly discharge and sediment load in some rivers of West Azerbaijan Province", ***Quantitative Geomorphological Researche***, 5 (2): 53-65. [In Persian].
- Ghavidel Rahimi, Y., (2004), "The application of rainfall-based criteria in studying of drought and wet years (Case study: East Azarbaijan province)", ***Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)***, 65: 47-56. [In Persian].
- Herbst, P. H., Bredenkamp, D. B., Barker, H. M. G., (1966), "A technique for the evaluation of drought from rainfall data", ***Journal of Hydrology***, 4: 264-272.
- Hisdal, H., Tallaksen, L. M., (2003), "Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: A Case study for Denmark", ***Journal of Hydrology***, 281: 230-247.
- Kadioghlu, M., Sen, Z., (1998), "Power-law relationship in describing temporal and spatial precipitation pattern in Turkey", ***Journal of Theoretical and Applied Climatology***, 59: 93-106.
- Karimi, M., Shahedi, K., Byzedi, M., (2015), "Analysis of hydrological drought using constant threshold level method (Case study: Karkheh River Basin, Iran)", ***Journal of Watershed Management Research***, 6 (11): 59-72. [In Persian].
- Khosravei, M., Akbarei, M., (2009), "A study characteristic of Khorasan-south province drought climatology", ***Geography and Development Iranian Journal,*** 7 (14): 51-68. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Mehry, S., Haji, Kh., Alizadeh, V., Mostafazadeh, R., (2017), "Assessing the spatial variations of meteorological drought severity in Kurdistan Province at different time scales", ***Geographical Dara (Sepehr)***, 26 (102): 151-162. [In Persian].
- Mirakbari, M., Ganji, A., (2012), "A bivariatie analysis of meteorological drought duration and severity (Case study: Kermnashah province)", ***Iranian Water Research Journal***, 6 (11): 17-25. [In Persian].
- Mishra, A. K., Singh, V. P., (2010), "A review of drought concepts", ***Journal of Hydrology***, 391: 202-216.
- Mosaedi, A., Khalili Zade, M., Mohammadi, A., (2008), "Drought monitoring in Golestan province", ***Journal of Agricultural Science and Natural Resources***, 15 (2): 176-183. [In Persian].
- Mostafazadeh, R., Sheikh, V. B., (2010), "Rain-gauge density assessment in Golestan province using spatial correlation technique", ***Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)***, 93: 79-87. [In Persian].
- Mostafazadeh, R., Haji, Kh., Zabihi, M., (2017), "Analysis of monthly flow discharge occurrence pattern using Power Laws Analysis in some hydrometric stations of Mazandaran Province", ***Iranian Journal of Soil and Water Research***, 48 (5): 1073-1085. [In Persian].
- Mostafazadeh, R., Shahabi, M., Zabihi, M., (2015), "Analysis of meteorological drought using Triple Diagram Model in the Kurdistan Province, Iran", ***Journal of Geographical Planning of Space***, 5 (17): 129-140. [In Persian].
- Mostafazadeh, R., Vafakhah, M., and Zabihi, M., (2016), "Analysis of monthly wet and dry spell occurrence by using Power Laws in Golestan Province", ***Iranian Journal of Ecohydrology***, 2 (4): 429-443. [In Persian].
- Samiee, M., Teluari, A., (2008), "Investigation of hydrologic drought severity and duration at Tehran Fars province watersheds", ***Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)***, 79: 21-27. [In Persian].
- Sen, Z., (2008), "***Wadi Hydrology***", CRC Press, Taylor and Francis Group, 347p.
- Shafiei, M., Ansari, H., Ghahraman, B., Sharifi, M. B., (2011), "Time series modeling of drought severity based on Palmer index", ***Dry and Drought Research Center in Agriculture and Natural Resources***, 47: 149-158. [In Persian].
- Shahrokh Wandi, S. M., Lashanizand, M., Khakpoor, M., (2009), "Evaluation of hydrological drought and its relationship with rainfall in Khorramabad River Basin", ***Amayesh Journal***, 6: 140-156. [In Persian].
- Sirdas, S., Sen, Z., (2003), "Spatio-temporal drought analysis in the Trakya region", ***Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques***, 48 (5): 809-820.
- Tallaksen, L. M., Hisdal, H., Van Lanen, H. A. J., (2009), "Space-time modelling of catchment scale drought characteristics in the UK", ***Journal of Hydrology***, 375: 363-372.
- Tarawneh, Q. Y., (2013), "Quantification of drought in the Kingdom of Saudi Arabia", ***International Journal of Water Resources and Arid Environments***, 2 (3): 125-133.
- Yildiz, O., (2014), "Spatiotemporal analysis of historical droughts in the Central Anatolia, Turkey", ***Gazi University Journal of Science***, 27 (4): 1177-1184.
- Zahedi, M., Ghavidel Rahimi, Y., (2002), "Recognition of drought forecasting and classification using time series method in Urmia Lake watershed", ***Geographic Space***, 6: 29-48. [In Persian].
- Zolina, O., Simmer, C., Belyaev, K., Gulev, S. K., Koltermann, P., (2013), "Changes in the duration of European wet and dry spells during the last 60 years", ***Journal of Climate***, 26: 2022-2047.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]