



* راؤف مصطفی‌زاده^۱
** خدیجه حاجی^۲
*** ابذر اسماعلی‌عوری^۳

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

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۰۹

تاریخ دریافت: 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 تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این تحقیق، شروع و پایان دوره‌های کم‌آبی و پرابی، میانگین دبی، دبی مؤثر و حد آستانه محاسبه و سپس تعداد دنباله‌ها در توالی وقوع دوره‌های کم‌آبی و پرابی 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 شبیه دوره کم‌آبی در ایستگاه نوده (۰/۲۶) مشاهده شده در حالی که ایستگاه رامیان با شبیه خط (۰/۲۸) بیشترین شدت دوره پرابی را در بین ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه تجربه نموده است. به عبارتی در ایستگاه نوده، وقوع کم‌آبی و در ایستگاه رامیان، وقوع پرابی دارای رژیم پایدارتری است. هم‌چنین، بیشترین تداوم

۱- گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی. (نویسنده مسئول).

۲- گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۳- گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی مربوط به ایستگاه‌های آق‌قلاء (۳۲/۸۹) و بصری‌آباد (۱۶/۲۹) در پایین‌دست رودخانه بوده که بیانگر متوسط تداوم با حداقل 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 به عنوان 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 عمدہ‌ای 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 مسئله 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 به خوبی نشان دهد، بهترین روش پایش خشکسالی تحلیل مشخصه‌های شدت و تداوم به صورت توأم می‌باشد به طور کلی تکرار، تداوم و شدت خشکی همگی توابعی هستند که به طور 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 به خصوص 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).

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 ۴۰ 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 زمان‌مکانی در تعدادی از حوزه‌های انگلستان، با وسعت ۱۷۰ کیلومترمربع مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که خشکسالی هواشناسی با تداوم کوتاه‌مدت (۱-۲ ماه) تمام حوضه را پوشش داده، در حالی که خشکسالی هیدرولوژیکی در یک مدت زمان طولانی‌تر (۴-۵ ماه) 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.

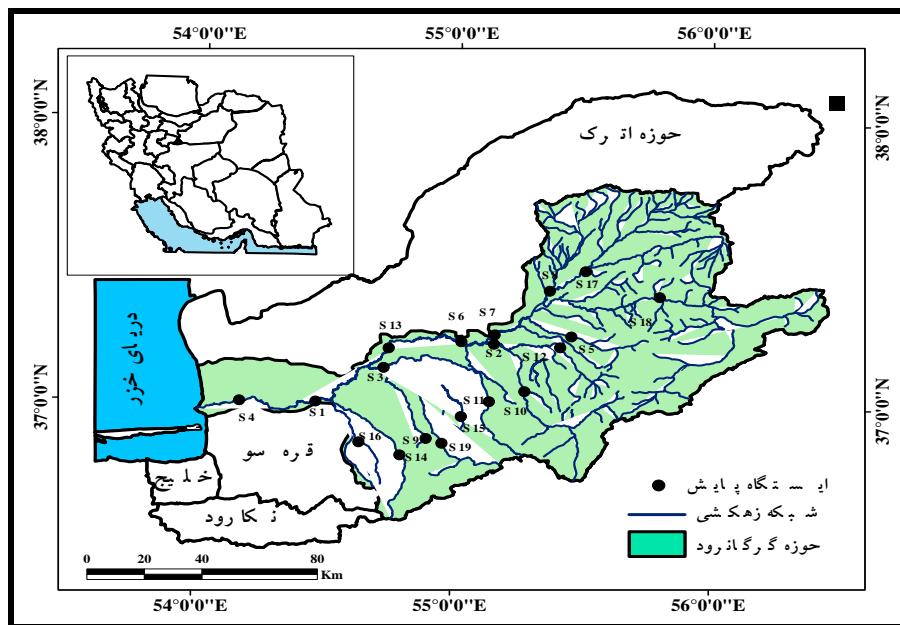
Mostafazadeh et al (2016) با تحلیل وقوع داده‌های بارندگی ماهانه ماههای پرباران و کم‌باران در استان گلستان با استفاده از روش آنالیز توانی، الگوی تداوم دوره‌های ماهانه خشک و مرطوب در هر ایستگاه را محاسبه نمودند. نتایج ایشان نشان داد که وقوع طولانی‌ترین دوره کم‌باران (۹ ماه) در مرکز استان گلستان در ایستگاه‌های تمر و مینودشت به ترتیب با ۶ و ۵ 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 ۲۶ ایستگاه هیدرومتری استان مازندران طی دوره آماری ۳۶ ساله مورد تجزیه و تحلیل 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 به ترتیب با مقادیر شیب خط

-۱/۲۹ و -۰/۸۷ در جنوب غربی و غرب استان می باشند. براساس نتایج، بیشترین تداوم جریان با مقادیر ۱۲۲/۰۹ و ۱۴۵/۸۹ برای دوره های کم آبی و پرآبی در ایستگاه قرآن تالار در مرکز استان به وقوع پیوسته است. به عبارتی می توان گفت که ایستگاه های واقع در سرشاخه اصلی جنوب شرقی و مرکز مازندران دارای تداوم جریان کم آبی و پرآبی بیشتری در مقایسه با سایر ایستگاه ها هستند.

تحلیل تابع توانی برگرفته از تئوری فرکتال می باشد و چون با هندسه اقلیدوسی که دارای ابعاد صحیح می باشد، نمی توان بسیاری از پدیده های طبیعت را توصیف کرد، لذا هندسه فرکتالی می تواند مفید واقع گردد. در هندسه فرکتالی، ابعاد پدیده ها می توانند دارای اعداد کسری هم باشد. خشکسالی به عنوان یکی از پدیده های هیدرولوژیک، دارای خاصیت توالی وقوع و تکرار بوده و در توالی های متفاوت دارای خاصیت خود تشابه ای است و می توان ارتباط میان تعداد و تداوم وقوع دوره های پرآبی و کم آبی را با استفاده از روش تحلیل تابع توانی جستجو نمود. از آنجا که روش تحلیل تابع توانی با مفاهیم احتمالاتی دوره های کم آبی و پرآبی مرتبط است، در واقع از مشکلاتی هم چون نرمال بودن داده ها، مقادیر حدی و سایر اثرات آن مستثنی است. در این روش به جای تغییرات مقادیر فصلی یا سالانه، رژیم های دبی مورد توجه قرار می گیرد. فراوانی وقوع خشکسالی ها در استان گلستان به دلیل 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 دوره های پرآبی (دبی بیشتر از مقدار میانگین) و کم آبی (دبی کمتر از مقدار میانگین) براساس داده های 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 به عنوان واحد مطالعاتی در نظر گرفته شده است. استان گلستان از نظر گستردگی، تنوع توپوگرافی، نوع کاربری های اراضی دارای ناهمگنی بالایی است که خصوصیات و وقوع زمانی و مکانی دوره های خشک و مرطوب را متاثر می سازد. استان گلستان با مساحتی حدود ۲۰۴۳۸ کیلومتر مربع در شمال شرق کشور و در محدوده جغرافیایی $36^{\circ} \text{ تا } 53^{\circ}$ طول شرقی و $25^{\circ} \text{ تا } 38^{\circ}$ 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 طبقه بندی دومارتن دارای اقلیم هایی متفاوت می باشد که در این طبقه بندی، نوار شمالی استان دارای اقلیم خشک و نوار پایین تر آن دارای اقلیم نیمه خشک می باشد. همچنین دو ناحیه بسیار مرطوب در داخل ناحیه های مرطوب و پنج ناحیه مرطوب در داخل ناحیه های نیمه مرطوب قرار دارد (Mosaedi et al, 2008; Mostafazadeh and Sheikh, 2010: 81). موقعیت و پراکنش ایستگاه های هیدرومتری مورد استفاده در پژوهش حاضر در (شکل ۱)، ارائه شده است.



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 آب و هوایی تقریباً مختلف و همچنین طولانی بودن طول دوره آماری مورد استفاده، کاربرد روش تحلیل تابع توانی^۴، امکان بررسی وضعیت دوره‌های پرابی و کم‌آبی را در منطقه مورد مطالعه میسر می‌سازد. برای انجام این پژوهش، براساس طول دوره آماری ۳۸ ساله (۱۳۵۳-۱۳۹۱) و نیز کامل بودن داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌ها، تعداد ۲۰ ایستگاه هیدرومتری شرکت مدیریت منابع ایران که بر رویدخانه‌های 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	نام ایستگاه	رویدخانه	موقعیت جغرافیایی			متوجه دبی (مترمکعب بر ثانیه)
			Z	Y	X	
۱	تنگره	دوغ (مادرسو)	۳۳۰	۴۱۳۹۵۵۷	۳۹۳۵۴۱	۱/۴۵
۲	تمر	گرگانرود	۱۳۲	۴۱۴۹۶۸۳	۳۶۷۹۱۱	۱/۰۷
۳	گالیکش	اوغان	۲۵۰	۴۱۲۴۲۱۰	۳۶۲۸۷۳	۲/۰۹
۴	قلی‌تپه	قلی‌تپه	۲۵۰	۴۱۲۱۹۳۲	۳۵۹۵۴۸	۰/۰۰
۵	گند	گرگانرود	۳۶	۴۱۲۴۹۹۶	۳۳۶۲۳۶	۷/۰۱
۶	لزوره	چهل‌چای	۱۹۰	۴۱۲۰۹۶۵	۳۵۸۲۵۸	۲/۰۶
۷	نوده	خرمالو	۲۸۰	۴۱۰۲۹۵۳	۳۴۶۶۱۷	۲/۲۱

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

ردیف	رودخانه	نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی			متوسط دبی (مترمکعب بر ثانیه)
			Z	Y	X	
۸	گرگانزود	ارازکوسه	۳۵	۴۱۲۱۴۱۴	۳۳۶۱۳۲	۵/۵۸
۹	قرهچای	رامیان	۲۰۰	۴۰۹۸۸۹۹	۳۳۴۲۳۴	۱/۲۲
۱۰	گرگانزود	قراقلی	۳۰	۴۱۲۱۹۹۳	۳۲۴۳۷۲	۱۲/۹۳
۱۱	گرگانزود	سدگرگان	۱۲	۴۱۱۹۹۵۰۸	۲۹۹۵۱۰	۸/۹۳
۱۲	سیاهجوی	شیرآباد	۱۶۰	۴۰۹۲۹۸۲	۳۲۴۹۲۸	۰/۶۰
۱۳	گرگانزود	باخمه‌سالیان	۲۰	۴۱۱۲۱۳۷	۲۹۸۱۳۷	۳/۰۱
۱۴	جعفرآباد	نقی آباد	۱۰۰	۴۰۸۲۲۳۹	۲۸۸۹۸۶	۰/۴۰
۱۵	گرگانزود	آق قلا	-۱۲	۴۰۹۹۱۹۴	۲۷۴۰۹۶	۱۲/۰۹
۱۶	گرگانزود	بصیرآباد	-۲۱	۴۰۹۹۶۴۴	۲۴۷۶۴۵	۱۲/۶۱
۱۷	گرگانزود	حاجی‌قوشان	۴۵	۴۱۴۲۷۸۹	۳۵۶۱۶۹	۲/۷۶
۱۸	نرماب	پس پشه	۱۸۰	۴۱۱۴۶۳۶	۳۵۳۵۰۵	۲/۱۱
۱۹	زرینگل	زرینگل	۲۸۰	۴۰۸۲۶۷۲	۳۱۷۷۸۳	۲/۰۴
۲۰	محمدآباد	سرمو	۵۰۰	۴۰۷۸۱۵۹	۳۰۳۲۱۰	۱/۱۶

- 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 به صورت 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، میانگین‌دبی 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) به عنوان حد آستانه انتخاب و از تفاوت بین میانگین‌دبی و دبی موثر 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، به صورت یک سری داده به دست 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

دوره آماری به ترتیب 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) به دست آمد (Sen, 2008; Clauset et al, 2009: 666).

$$T_w = y_w N_w^{-x_w} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$T_d = y_d N_d^{-x_d} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن T_w و T_d به ترتیب مقیاس زمانی دوره‌های پرآبی و کم‌آبی، N_w و N_d به ترتیب 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 شبیه خط رابطه مذکور به صورت خط مستقیم در خواهد آمد که نشان‌دهنده مقادیر y و x هستند (Sen, 2008; Mostafazadeh et al, 2017: 1078). خط برآش مناسب میان پراکندگی نقاط تعداد دوره‌های پرآبی و کم‌آبی به روش کمترین مربعات رسم گردید که براساس میزان نزدیکی پراکندگی نقاط به خط برآش 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 برآش بر روی پلات لگاریتمی دوگانه مبنای تعیین دوره‌های کم‌آبی و پرآبی، می‌باشد (Bazuhair et al, 1997: 307; Kadioglu 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 به صورت (شکل‌های ۴ و ۵) 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 به صورت 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.

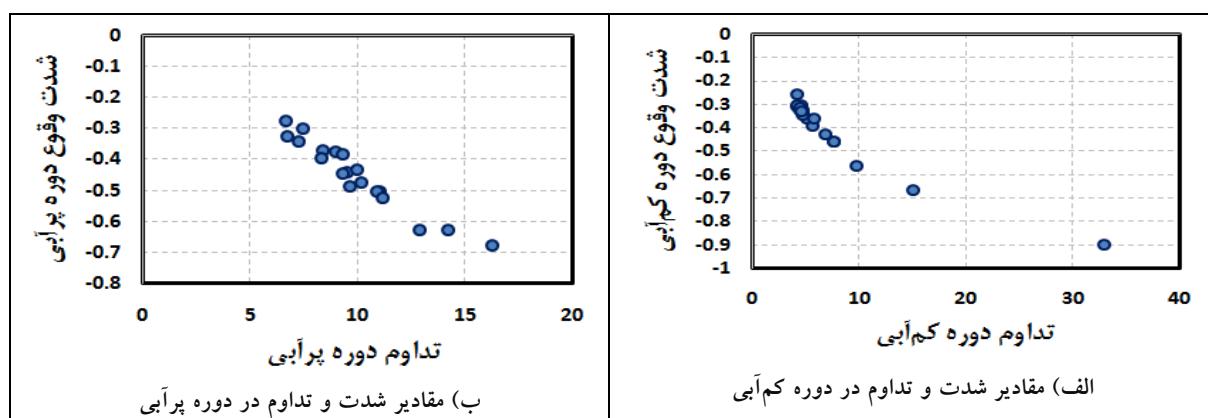
یافته‌ها و بحث

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.

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

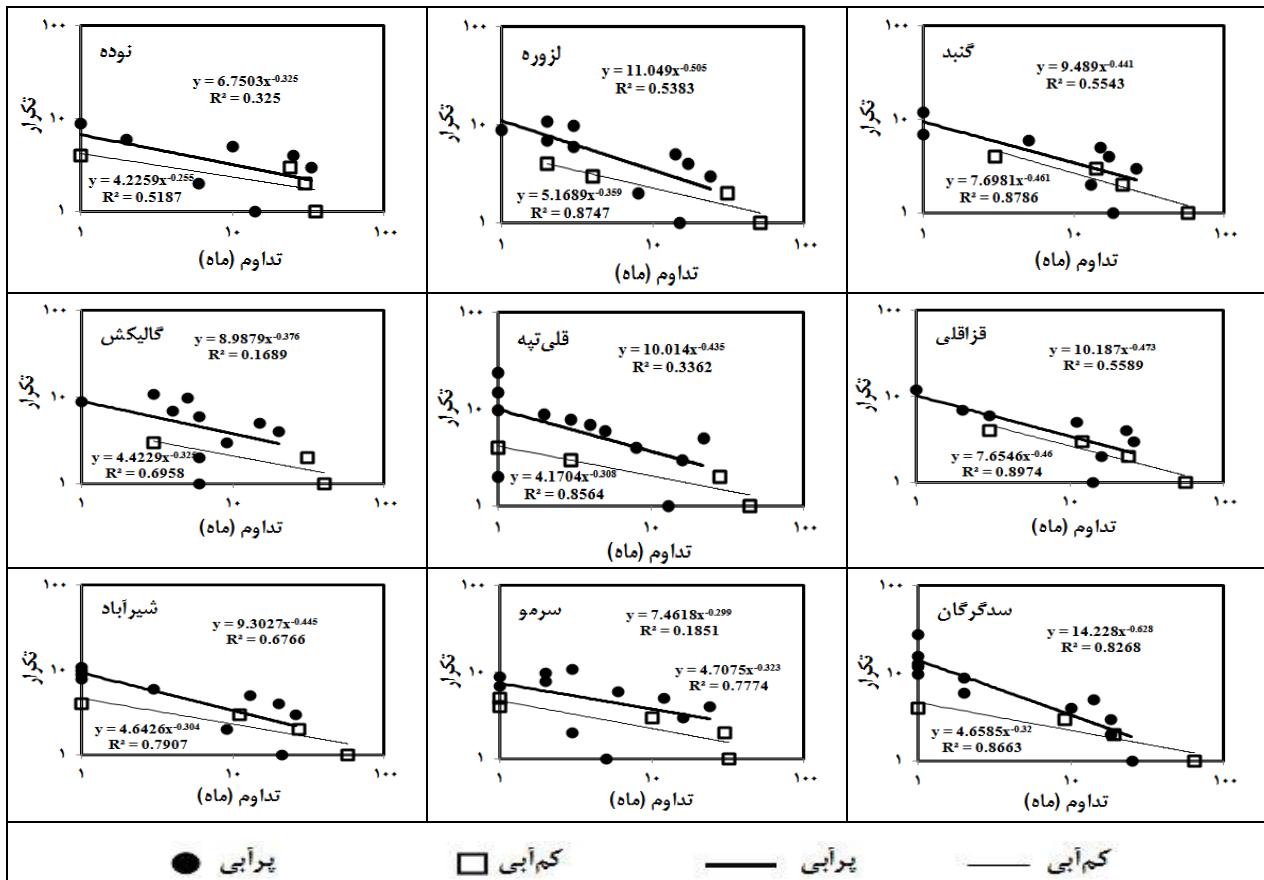
پرآبی		کم آبی		ایستگاه
تداوم	شدت	تداوم	شدت	
۶/۷۵	-۰/۳۳	۴/۲۳	-۰/۲۶	نوده خاندوز
۱۱/۰۵	-۰/۵۱	۵/۱۷	-۰/۳۶	لزوره
۹/۴۹	-۰/۴۴	۷/۷۰	-۰/۴۶	گند
۸/۹۹	-۰/۳۸	۴/۴۲	-۰/۳۳	گالیکش
۱۰/۰۱	-۰/۴۴	۴/۱۷	-۰/۳۱	قلی‌تبه
۱۰/۱۹	-۰/۴۷	۷/۶۵	-۰/۴۶	قراقلی
۹/۳۰	-۰/۴۵	۴/۶۴	-۰/۳۰	شیرآباد
۷/۴۶	-۰/۳۰	۴/۷۱	-۰/۳۲	سرمو
۱۴/۲۳	-۰/۶۳	۴/۶۶	-۰/۳۲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

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



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

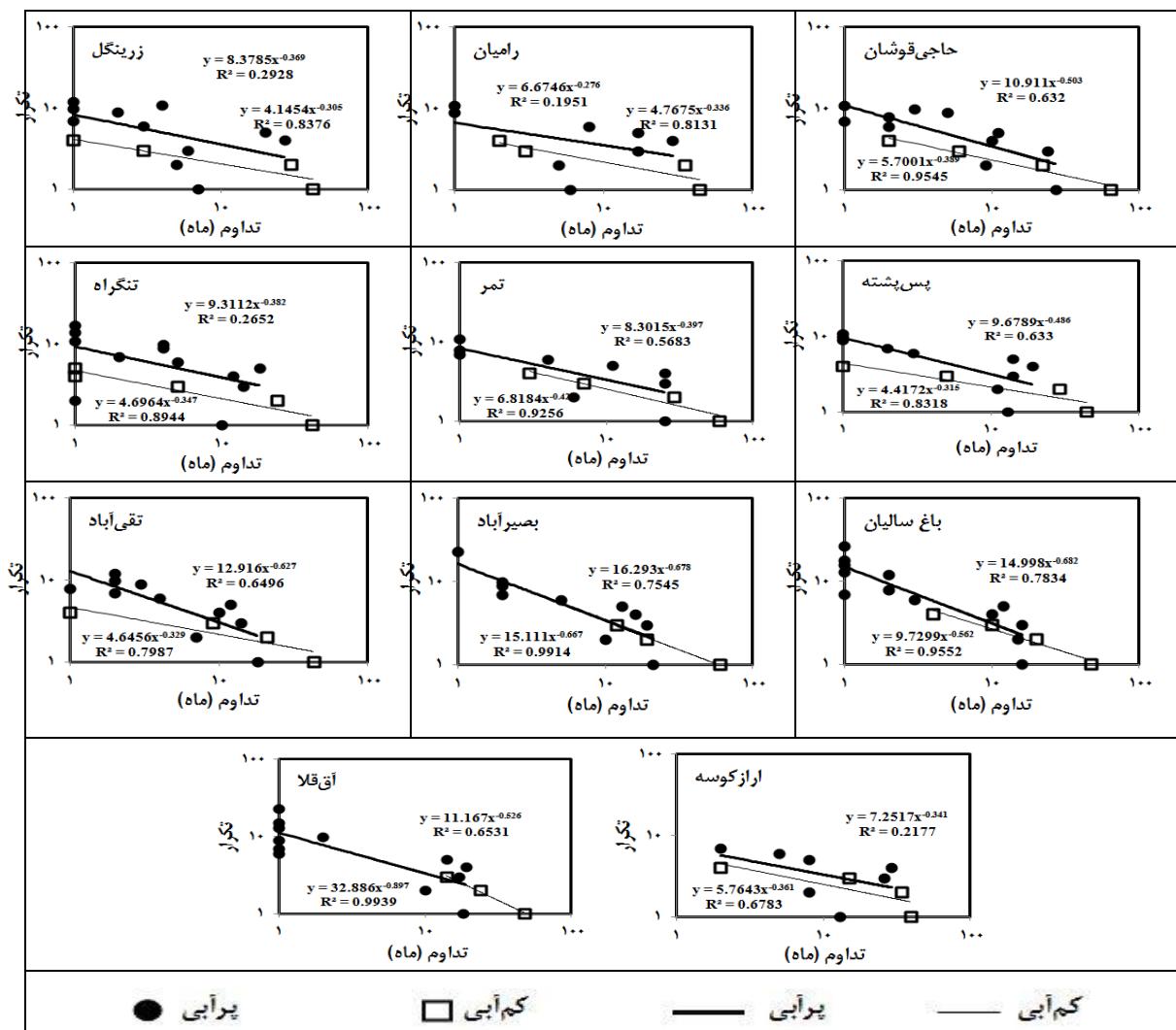
همچنین مقادیر شدت و قوع و تداوم در دوره‌های کم‌آبی و پرابی در (شکل ۲) نشان می‌دهد که ایستگاه‌هایی با مقدار شدت بالا دارای مقدار تداوم کم‌تری در آن ایستگاه است. به عبارتی در هر دو دوره کم‌آبی و پرابی، بین شدت و قوع و تداوم رابطه عکس وجود دارد. نمودار لگاریتمی دوره‌های طول ایستگاه‌های کم‌آبی و پرابی، به‌ازای فراوانی و قوع در (شکل ۳) نشان داده شده است که خطوط رگرسیونی مناسب با هر دوره در هر ایستگاه برآش داده شده است.



شکل ۳: پلات لگاریتمی دوره‌های تعداد و قوع مختلف کم‌آبی و پرابی در ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه گرگان‌رود

به عنوان مثال در ایستگاه حاجی‌قوشان تعداد دوره‌های کم‌آبی و پرابی در یک دوره متولی ۱ ماهه، به ترتیب ۶۴ و ۲۷ تکرار در حالی که در یک دوره متولی ۴ ماهه به ترتیب 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 متولی کم‌آبی و پرابی وجود دارد، بدین ترتیب که با افزایش مدت دوره مورد نظر از تعداد وقوع ماههای متولی کم‌آبی و پرابی کاسته می‌گردد. با توجه به ارتفاع از سطح دریا و تأثیر وقوع بارش‌های کوهستانی نسبتاً تعداد دوره‌های کم‌آبی نسبت به دوره‌های پرابی کم‌تر است و به عبارتی دوره‌های پرابی طولانی‌تری به وقوع می‌پيوندند. سپس با افزایش طول مبنای زمانی، تعداد تکرار دنباله‌های کم‌آبی و پرابی کاهش می‌یابد. بررسی تعداد وقوع دوره‌های کم‌آبی و پرابی در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد که در مجموع در دوره‌های یک ماهه، تعداد وقوع دوره‌های کم‌آبی از پرابی

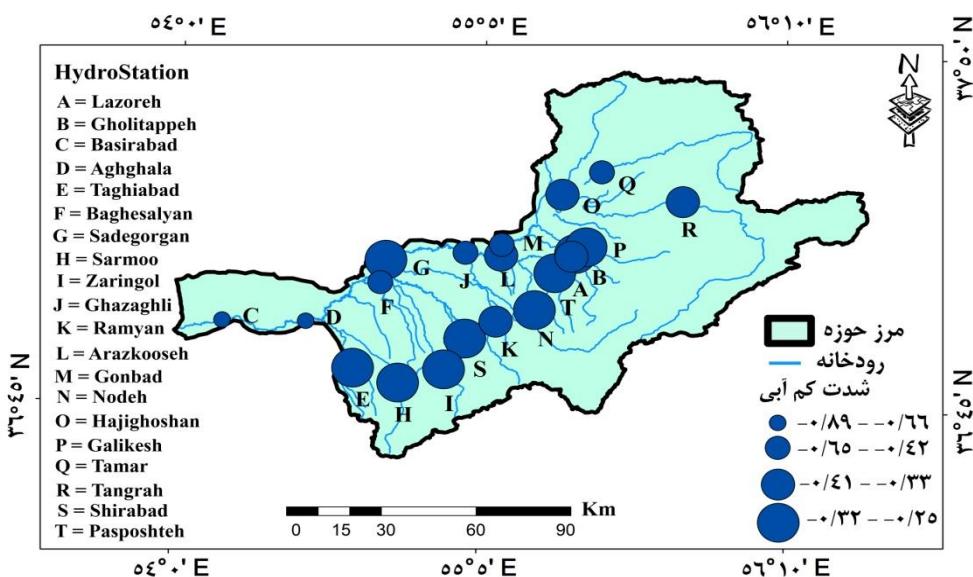
در تمامی ایستگاهها بیشتر است ولی در دوره‌های دو ماهه متوالی یا بیشتر، حالت عکس دارد و تعداد وقوع دوره‌های پرآیند بیشتر است.



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

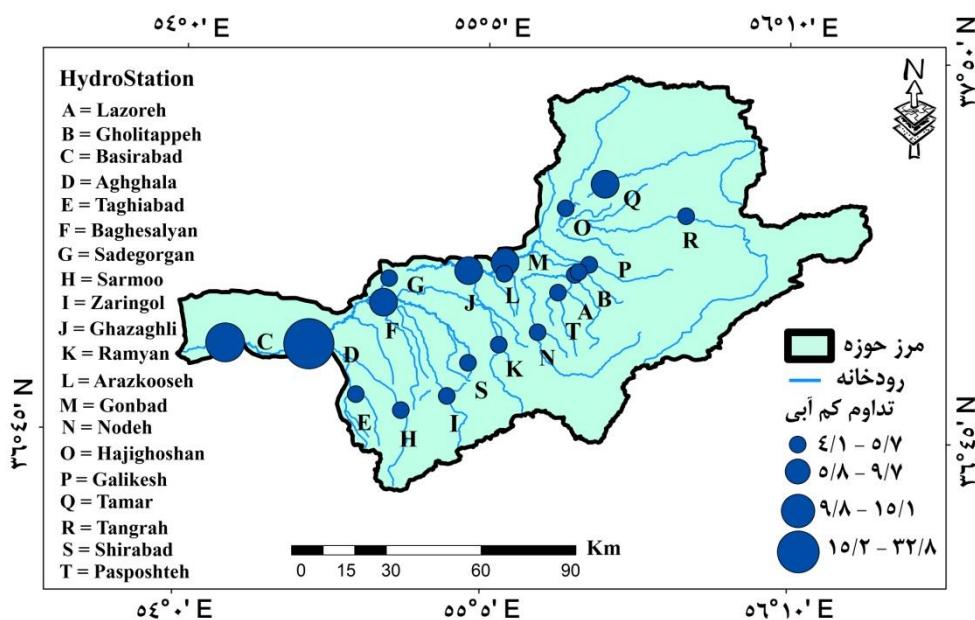
در تفسیر نمودارهای لگاریتمی دوگانه و خطوط برآش داده شده رگرسیونی، نکات زیر می‌تواند مدنظر قرار گیرد. نزدیکی پراکندگی نقاط به خط مستقیم نشان می‌دهد که دوره‌های کم‌آبی و پرآبی دارای یک رژیم همگن می‌باشند. خطوط نزدیک یا موازی بدون تقاطع دو دوره مختلف بیانگر عدم تغییرات زمانی در مقادیر دبی است و هر گونه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

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 این صورت کمآبی غالب خواهد بود. اگر این خطوط به هم دیگر خیلی نزدیک باشند، ایستگاه در شرایط بینایینی 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 برآش داده شده بر روی پلات لگاریتمی دوگانه، مبنای مدل تعیین دوره‌های کمآبی و پرآبی خواهد بود. الگوی تغییرات شدت دوره‌های کمآبی حوزه گرگان رود در (شکل ۴) ارائه شده است.



شکل ۴: تغییرات مقادیر شدت کمآبی ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز گرگان رود

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 $-0/26$) و آق‌قلا در پایین‌دست حوزه (با مقدار شیب خط $-0/90$) به ترتیب 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 ۵) ارائه شده است.



شکل ۵: تغییرات مقادیر تداوم کم آبی ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز گرگانزود

بیشترین و کمترین مقدار تداوم جریان کم آبی در (شکل ۴)، به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های آق‌قلا (با مقادیر ۳۲/۸۹) در پایین‌دست و زرینگل (با مقادیر ۴/۱۵) در بالادست رودخانه می‌باشد، علاوه بر این مشاهده می‌شود که الگوی تغییرات مکانی مقادیر تداوم جریان نشان می‌دهد که عموماً ایستگاه‌های بالادست، به دلیل دبی پایین‌تر، دارای تداوم جریان کم آبی کمتری در مقایسه با سایر ایستگاه‌های پایین‌دست هستند.

نتیجه‌گیری

تحلیل دوره‌های کم آبی 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 کم آبی 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). شبی خطوط مستقیم بر روی پلات لگاریتمی دوگانه (شکل ۳) نشان‌دهنده شدت و قوع دوره‌های کم آبی و پرآبی است. عدم تلاقی خطوط دوره‌های کم آبی و پرآبی در ایستگاه‌های نوده، لزوره، گالیکش، قلی‌تپه، شیرآباد، زرینگل، رامیان، سرمو، حاجی‌قوشان، تنگره، پس‌پشه و ارازکوشه نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های مذکور، تداوم دوره‌های پرآبی بیش‌تر از تداوم دوره‌های کم آبی است. همچنین در ایستگاه‌های مذکور خط مربوط به دوره پرآبی بالاتر از خط مربوط به دوره کم آبی قرار گرفته و در نتیجه ایستگاه‌های مورد نظر در شرایط مرطوب واقع شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود این خطوط در

ایستگاه‌های قزاقلی، گنبد، باغ سالیان و تمر به همدیگر خیلی نزدیک می‌باشند، بیانگر عدم تغییرات قبل 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 (۴) نشان داد که بیشترین شدت در ایستگاه نورده (با مقدار شیب خط ۰/۲۶) واقع در بالادست حوزه مشاهده شد که به معنی، 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. به عبارتی 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، به عبارتی 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 به ترتیب در ایستگاه‌های آق‌قلا (با مقادیر ۳۲/۸۹) در پایین‌دست و زرینگل (با مقادیر ۱۵/۴) در بالادست رودخانه می‌باشد، در مجموع مقدار عددی تداوم بیانگر متوسط تداوم ماهانه با حداقل 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 اکثرًا 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 به دلیل 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

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.

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., Maher, 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 Markov 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., Sutera, 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 Research*, 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.
- Kadioglu, 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].

- 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 bivariate 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.