

مقدمه

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. وقوع دوره‌ای متناوب دوره‌های خشک و مرطوب جزء ماهیت سری‌های زمانی جریان رودخانه‌ای بوده و روی وضعیت کمی آب‌های سطحی، تأثیر می‌گذارد. [۱۷ و ۱۹]. 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 [۲۲]. پایش خشکسالی فقط براساس یک مشخصه نمی‌تواند شرایط واقعی منطقه را به خوبی 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 [۱]. یکی از قدم‌های مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی در هر منطقه تعیین شاخص‌هایی است که بتوان براساس آن‌ها میزان شدت و تداوم خشکسالی را در یک منطقه ارزیابی کرد [۱۳]. شاخص خشکسالی در واقع تابعی از عوامل مختلف محیطی است که بر پدیده خشکسالی اثر می‌گذارند، در نهایت تحلیل خشکسالی جریان رودخانه به تعیین توزیع‌های احتمالاتی مناسب جهت برازش بر سری‌های زمانی، تداوم و حجم کمبود جریان می‌پردازد که در نتیجه آن می‌توان ریسک خشکسالی آینده را پیش‌بینی نمود [۸]. اخیراً تحلیل فراوانی کمبود جریان رودخانه‌ای در مطالعات خشکسالی هیدرولوژیک مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته است. برخورداری و خسروشاهی [۳] در پژوهش خود، به تغییرات هیدرولوژیکی حوزه آبخیز میناب در ارتباط با خشکسالی و تغییرات کاربری اراضی در سه بازه زمانی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و RS پرداختند. ایشان با استفاده از میانگین متحرک، دوره‌های ترسالی و خشکسالی رودخانه را در طول دوره آماری استخراج کردند. نتایج ایشان نشان داد علی‌رغم یکسان بودن میزان بارش در دو دوره ترسالی، دبی‌های متوسط و آب پایه رودخانه کاهش قابل توجهی یافته و جریان رودخانه از حالت نیمه دایمی به فصلی تغییر کرده است. بایزیدی و همکاران [۴] تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی حوزه کارون را براساس روش حد آستانه ثابت استخراج و نتایج را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در تحقیق ایشان فراوانی وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی و همزمانی

تغییرات تداوم و شدت دبی ماهانه جریان رودخانه‌ای در حوضه گرگانرود استان گلستان

خدیدجه حاجی^۱، رئوف مصطفی‌زاده^۲ و اباذر اسمعیلی‌عوری^۳

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۰۳

چکیده

ضرورت و مبنای اولیه برنامه‌ریزی مدیریت آب، ارزیابی و درک تداوم و شدت دوره‌های هیدرولوژیک خشک و مرطوب است. هدف پژوهش حاضر تعیین دوره‌های شروع و پایان خشکسالی و ارزیابی تغییرات تداوم و شدت دبی ماهانه جریان رودخانه‌ای در ۲۰ ایستگاه هیدرومتری استان گلستان در یک دوره ۳۸ ساله (۱۳۵۳-۱۳۹۱) است. براساس توزیع ماهانه جریان، ضریب وزنی اهمیت کمبود آب ماهانه محاسبه شد. سپس اختلاف دبی هر ماه از میانگین درازمدت در فاکتور وزنی ضرب و دبی مؤثر محاسبه شد. تفاوت میانگین دبی و دبی مؤثر به‌عنوان کمبود ماهانه مدنظر قرار گرفت و شدت کمبود جریان محاسبه شد. براساس نتایج، در ایستگاه‌های نوده خاندوز و سرمو واقع در بالادست، در تمام سال مقادیر آبدهی از حجم کمبود (میلیون مترمکعب) بالاتر بوده و کمبود جریان مشاهده نشد. در حالیکه در اکثر ایستگاه‌ها تداوم دوره کمبود در ماه‌های تیر و مرداد اتفاق افتاده است. هم‌چنین تغییرات حجم کمبود در سال‌های مختلف نشان داد که فراوانی تداوم‌های ۴ و ۵ ماهه بیش‌تر از سایر تداوم‌ها است. براساس نتایج خوشه‌بندی، ایستگاه‌های مشابه مانند تقی‌آباد و بصیرآباد دارای بالاترین شدت کمبود جریان می‌باشند در صورتی‌که ایستگاه‌های نوده‌خاندوز و سرمو کم‌ترین مقدار شدت کمبود جریان را دارند.

واژه‌های کلیدی: حجم کمبود، خشکسالی هیدرولوژیک، دبی مؤثر، شدت کمبود جریان

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۲- استادیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، نویسنده مسئول، Email: Raoofofmostafazadeh@uma.ac.ir

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

وقوع آن در زیرحوزه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه گرفتند که براساس تعریف حد آستانه در بیش‌تر سال‌های آماری خشکسالی کم برای دوره کوتاهی اتفاق افتاده است. شدت و تداوم خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه‌های آبخیز استان تهران توسط سمیعی و تلوری [۱۶] 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. روند دبی جریان رودخانه‌های ۲۶ حوزه آبخیز در کشور ترکیه توسط کاهیا و کالایچی^۱ [۱۰] مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که در بیش‌تر حوزه‌های ترکیه روند جریان رودخانه‌ها کاهشی است و نتیجه گرفتند که این روند کاهشی می‌تواند به دلایلی نظیر کاهش در میزان بارندگی و افزایش درجه حرارت هوا باشد. پاندی^۲ و همکاران [۱۵] جهت تحلیل خشکسالی جریان رودخانه برای حوزه رودخانه بتوا^۳ در هندوستان یک نمایه که تابعی از حجم کمبود و تداوم نسبی بود ارایه نمودند. ایشان به این نتیجه رسیدند خشکسالی‌هایی که در ماه‌های آگوست تا نوامبر شروع می‌شوند، شدیدتر از موارد سایر ماه‌ها می‌باشند. تجزیه و تحلیل ویژگی‌های خشکسالی در حوزه آبخیز رودخانه آواش در اتیوپی توسط ادوسا^۴ و همکاران [۵] ارایه شد. ایشان دریافتند که شدیدترین وقایع خشکسالی اتفاق افتاده در این حوزه در سال ۱۹۸۸ مربوط به ماه‌های می تا آوریل و ماه‌های می تا ژانویه است. ونلون و لاه^۵ [۲۰] در مطالعه خود، شدت خشکسالی هیدرولوژیکی ناشی از تغییرات آب و هوایی و مشخصات حوزه آبخیز در اتریش را بررسی نمودند. ایشان شدت خشکسالی را بر اساس یک مجموعه داده متشکل از ۴۴ حوزه با سری‌های زمانی طولانی از داده‌های هواشناسی آبی (به‌طور متوسط حدود ۵۰ سال) و ویژگی‌های فیزیوگرافی حوزه آبخیز برآورد نمودند. سپس آنالیز خشکسالی با استفاده از روش سطح آستانه متغیر و روش‌های مختلف آماری بدست آمد، نتایج ایشان نشان داد که ذخیره رطوبت خاک، سفره‌های آبی و دریاچه‌ها، تحت تأثیر مدت زمان خشکسالی و ذخیره فصلی برف و یخچال‌های طبیعی، کمبود خشکسالی را تحت تأثیر قرار می‌دهد در نتیجه، تغییرات مکانی شدت خشکسالی هیدرولوژیکی به شدت وابسته به فرآیندهای هیدرولوژیکی آبخیز است. کمبود جریان به حجم آب کم‌تر از سطح آستانه اطلاق می‌شود که در محاسبه ویژگی‌های آماری خشکسالی و مدیریت منابع آب کاربرد دارد [۶ و ۱۴]. حجم کمبود یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خشکسالی در مدیریت منابع آب است. با توجه به وجود رودخانه‌های دائمی و شرایط متنوع آب و هوایی استان گلستان، بررسی تغییرات زمانی تداوم و شدت جریان رودخانه‌ای دارای اهمیت ویژه‌ای است. لذا

هدف از پژوهش حاضر، تحلیل دبی‌های جریان رودخانه‌ای به‌منظور تعیین دوره‌های کمبود جریان و نیز محاسبه تداوم و شدت کمبود جریان آب‌های سطحی در ایستگاه‌های هیدرومتری استان گلستان در یک دوره ۳۸ ساله در فاصله سال‌های ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۱ است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر، حوزه آبخیز گرگانرود در استان گلستان براساس مرز هیدرولوژیک به‌عنوان واحد مطالعاتی در نظر گرفته 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 متأثر می‌سازد. استان گلستان با مساحتی حدود ۲۰۴۳۸ کیلومترمربع در شمال شرق کشور و در محدوده جغرافیایی ۵۰° ۵۳' تا ۱۸° ۵۶' طول شرقی و ۲۵° ۳۶' تا ۰۸° ۳۸' عرض شمالی واقع شده است. میزان بارندگی متوسط سالانه ۷۶۵ میلی‌متر می‌باشد. 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 نواحی مرطوب و پنج ناحیه مرطوب در داخل نواحی نیمه‌مرطوب قرار دارد [۱۱ و ۱۲]. کاربری عمده حوزه به‌ویژه در جنوب و شرق جنگلی بوده و در شمال و غرب منطقه دشت‌های آبرفتی به‌صورت زراعت و مرتع در حال بهره‌برداری هستند. شکل (۱)، موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان گلستان و ایران و هم‌چنین پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری و مکان سدهای آبی را در منطقه مورد مطالعه نمایش می‌دهد.

در پژوهش حاضر ابتدا آمار دبی ماهانه ۲۰ ایستگاه هیدرومتری در سطح حوزه در دوره آماری ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۱ در منطقه شناسایی شد. از آنجایی که در تحلیل شدت کمبود جریان هر چه دوره آماری ایستگاه‌ها بیش‌تر باشد دقت نتایج دقیق‌تر است، بنابراین کد ایستگاه‌ها و هم‌چنین داده‌های مورد نیاز در پژوهش حاضر که در جدول (۱) ارایه شده است، شامل آمار دبی ماهانه ۲۰ ایستگاه در سطح حوزه در دوره آماری ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۱ می‌باشد.

روش تحقیق

در تحلیل دوره‌های کم‌آبی جریان رودخانه‌ای روش‌های متعددی از جمله آنالیز توانی^۶، شاخص دبی استاندارد^۷، شاخص کمبود^۸، شاخص‌های دهک دبی^۹ و هم‌چنین شاخص جریان رودخانه استاندارد شده^{۱۰}، برای وقوع خشکسالی‌های هیدرولوژیکی دبی جریان وجود دارد ولی در پژوهش حاضر از روش شاخص مقیاس متحرک

6- Power Laws Analysis (PLA)

7- Standardized Discharge Index (SDI)

8- Deficit Index (DI)

9- Discharge Decile Index (DDI)

10- Standardized Streamflow index (SSI)

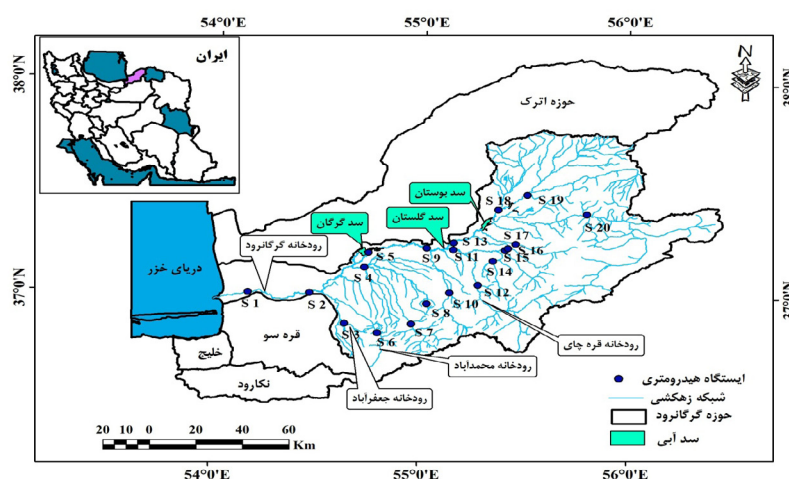
1- Kahya and Kalayci

2- Pandey

3- Betwa

4- Edossa

5- Van Loon and Laaha



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در ایران و استان گلستان

جدول ۱: موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در استان گلستان در طول دوره آماری سال ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۱ (مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان)

متوسط دبی (مترمکعب بر ثانیه)	موقعیت جغرافیایی (متریک)			نام ایستگاه	رودخانه	کد	
	Z	Y	X			ایستگاه	علائم ایستگاه
۱۲/۶۱	۲۱-	۴۰۹۹۶۴۴	۲۴۷۶۴۵	بصیر آباد	گرگانرود	۱۲-۰۳۹	S1
۱۳/۰۹	۱۲-	۴۰۹۹۱۹۴	۲۷۴۰۹۶	آق‌قلا	گرگانرود	۱۲-۰۳۷	S2
۰/۴۰	۱۰۰	۴۰۸۳۲۳۹	۲۸۱۹۸۶	تقی آباد	جعفر آباد	۱۲-۰۳۳	S3
۳/۵۱	۲۰	۴۱۱۲۱۳۷	۲۹۸۱۳۷	باغه‌سالیان	گرگانرود	۱۲-۰۳۱	S4
۸/۹۳	۱۲	۴۱۱۹۹۵۸	۲۹۹۵۱۰	سد گرگان	گرگانرود	۱۲-۰۲۵	S5
۱/۱۶	۵۰۰	۴۰۷۸۱۵۹	۳۰۳۲۱۰	سرمو	محمد آباد	۱۲-۰۸۳	S6
۲/۰۴	۲۸۰	۴۰۸۲۶۷۲	۳۱۷۷۸۳	زرینگل	زرینگل	۱۲-۰۷۱	S7
۰/۶۰	۱۶۰	۴۰۹۲۹۸۲	۳۲۴۹۲۸	شیر آباد	سیاه‌جوی	۱۲-۰۲۷	S8
۱۲/۹۳	۳۰	۴۱۲۱۹۹۳	۳۲۴۳۷۲	قزاقلی	گرگانرود	۱۲-۰۲۳	S9
۱/۲۲	۲۰۰	۴۰۹۸۱۹۹	۳۳۴۲۳۴	رامیان	قره‌چای	۱۲-۰۲۱	S10
۵/۵۸	۳۵	۴۱۲۱۴۱۴	۳۳۶۱۳۲	ارازکوسه	گرگانرود	۱۲-۰۱۹	S11
۲/۲۱	۲۸۰	۴۱۰۲۹۵۳	۳۴۶۶۱۷	نوده	خرمالو	۱۲-۰۱۷	S12
۷/۵۱	۳۶	۴۱۲۴۹۹۶	۳۳۶۲۳۶	گنبد	گرگانرود	۱۲-۰۱۱	S13
۲/۱۱	۱۸۰	۴۱۱۴۶۳۶	۳۵۳۵۰۵	پس‌پشته	نرماب	۱۲-۰۱۵	S14
۲/۰۶	۱۹۰	۴۱۲۰۹۶۵	۳۵۸۲۵۸	لزوره	چهل‌چای	۱۲-۰۱۳	S15
۰/۵۰	۲۵۰	۴۱۲۱۹۳۲	۳۵۹۵۴۸	قلی‌تپه	قلی‌تپه	۱۲-۰۰۹	S16
۲/۵۹	۲۵۰	۴۱۲۴۲۱۰	۳۶۲۸۷۳	گالیکش	اوغان	۱۲-۰۰۷	S17
۲/۷۶	۴۵	۴۱۴۲۷۸۹	۳۵۶۱۶۹	حاجی‌قوشان	گرگانرود	۱۲-۰۶۳	S18
۱/۵۷	۱۳۲	۴۱۴۹۶۸۳	۳۶۷۹۱۱	تمر	گرگانرود	۱۲-۰۰۵	S19
۱/۴۵	۳۳۰	۴۱۳۹۵۵۷	۳۹۳۵۴۱	تنگراه	دوغ (مادرسو)	۱۲-۰۰۱	S20

$$x = \frac{\text{MADdef} - \text{MMMD}}{11} \quad (2)$$

که در آن، MADdef میانگین کمبود سالانه، و MMMD⁴ ماکزیمم میانگین دبی ماهانه در هر سال و x مقیاس متحرک می باشد. رابطه ارایه شده برای تعیین شروع خشکی در ماه اول است و در ماه های بعدی، مقادیر مجموع کمبود جریان با رابطه $\text{MMMD} + nx$ محاسبه می شود که در آن n، ماه های سال می باشد. شاخص های پدیدهی کمبود جریان که مهم ترین آن ها دو شاخص حجم کمبود جریان و تداوم آن می باشد به وسیله مفهوم آستانه ای به نام دبی مرجع مشخص می گردند، به گونه ای که اگر جریان از حد آستانه کم تر گردد پدیده کمبود جریان رخ داده است.

طول دوره خشکسالی⁵ (L): یوجویچ⁶ در سال ۱۹۶۷ طول دوره خشکسالی را به صورت فاصله زمانی تعریف کرد که در آن، خشکسالی اتفاق افتاده است. یعنی طول دوره ای که طی آن مقدار متغیر اصلی از سطح بحرانی مورد نظر کم تر شود [۱۸]. مقدار این پارامتر برابر است با:

$$L = D_e - D_s \quad (3)$$

که در آن، De خاتمه دوره خشکسالی و DS شروع دوره خشکسالی می باشد.

شدت کمبودها^۷ (S): این پارامتر نیز که توسط یوجویچ در سال ۱۹۶۷ ارایه شده است برابر است با مجموع کمبودهای متغیر اصلی از سطح بحرانی موردنظر در طول دوره خشکسالی، که این پارامتر، در تحقیق حاضر با واژه (Severity) بیان می شود [۱۸].

میانگین کمبودها^۸ (I): این پارامتر نیز در سال ۱۹۶۷ توسط یوجویچ [۲۱] معرفی شده و مقدار آن برابر است با نسبت مجموع کمبودها به طول دوره خشکسالی. این پارامتر معرف میانگین کمبود یا شدت متوسط^۹ (Intensity) در واحد زمان است. مشاهده می شود که با استفاده از دو پارامتر اول و دوم، پارامتر سوم، نیز قابل محاسبه است. از سه ویژگی بالا، معمولاً طول دوره خشکسالی و مجموع کمبودها متداول ترند [۱۸]. بنابراین ایستگاه های مشابه براساس تغییرات نسبت حجم کمبود و حجم آبدی با استفاده از روش خوشه بندی تعیین شدند. هم چنین نمودار جریانی مراحل انجام پژوهش حاضر به صورت شکل (۲) ارایه شده است.

نتایج

همان طور که در پژوهش حاضر ذکر گردید، تغییرات حجم کمبود جریان براساس مقادیر دبی طولانی مدت جریان محاسبه شده است، که نتایج آن در مقیاس ماهانه در شکل (۳) ارایه شده است.

استفاده شده است. در روش شاخص مقیاس متحرک شروع و پایان دوره های کمبود جریان بر اساس میانگین کمبود سالانه (MADdef) و مجموع مقادیر کمبود جریان در ماه های متوالی مشخص می گردد و نیز در استفاده از روش مذکور، به مقدار کمبود جریان در ماه های خشک سال اهمیت بیش تری داده می شود.

ویژگی های خشکسالی شدت، مدت و فراوانی از سری های زمانی داده های هیدرواقلمی با مقادیر کم تر از یک سطح آستانه ثابت محاسبه می شوند [۶ و ۹]. به عنوان مثال استفاده از روش سطح آستانه در مدیریت آب، ویژگی های آماری خشکسالی جریان را محاسبه می کند [۱۴]. شدت حجم کمبود نیز براساس تفاوت بین نوسانات جریان رودخانه و سطح آستانه در دوره خشکسالی محاسبه می شود [۹]. ماهیت داده های دبی و تأثیرپذیری آن ها از بارش در مقیاس ماهانه و نیز تغییرات فصلی جریان باعث می شود که جریان رودخانه ای در تعدادی از ماه ها به طور طبیعی بسیار پایین باشد. بنابراین کاهش دبی در ماه های پر آب نسبتاً به ماه هایی که ذاتاً خشک هستند دارای اهمیت بیش تری است [۱۵]. به عبارتی می توان براساس توزیع جریان در ماه های مختلف سال و کل جریان سالانه رودخانه یک ضریب وزنی برای تعیین اهمیت نسبی خشکی در هر ماه محاسبه نمود. برای محاسبه شاخص کمبود جریان و با استفاده از داده های دبی ماهانه، از روابط زیر استفاده می شود [۷].

$$W(t) = 0.1 \left(1 + \frac{M(t)}{\frac{1}{12} \times \text{MAD}_{\text{dis}}} \right) \quad (1)$$

که در آن، M(t) میانگین دبی هر ماه، MADdis^۱ میانگین دبی سالانه و W(t) فاکتور وزنی برای هر ماه، که مقدار آن بین ۰/۱ تا ۰/۴ متغیر می باشد.

براساس رابطه (۱) محاسبه شده، میانگین دبی هر ماه (به عنوان مثال مهرماه) از هر سال در طول دوره آماری ۳۸ ساله انتخاب و از میانگین دبی همان ماه (مهرماه) کسر شد و در فاکتور وزنی W(t) ماه دوم (آبان ماه) که براساس رابطه (۱) محاسبه شده، ضرب گردید. سپس مقدار بدست آمده را با میانگین دبی ماه دوم (آبان ماه) جمع و حاصل دبی مؤثر برای هر ماه (مهرماه) محاسبه شد. بنابراین از تفاوت بین میانگین دبی و دبی مؤثر هر ماه، میانگین کمبود ماهانه^۲ (MMD) برای هر ۱۲ ماه بدست آمده و سپس از مجموع آن ها (۱۲ ماه) در هر سال میانگین کمبود سالانه^۳ (MADdef) برای هر سال محاسبه شد. هم چنین از مقایسه میانگین کمبود سالانه (MADdef) و مجموع مقادیر کمبود جریان در ماه های متوالی با مقدار عددی شاخص مقیاس متحرک (x) طبق رابطه (۲)، شروع و پایان دوره کمبود جریان در هر ماه مشخص گردید [۲ و ۷].

4- Maximum Mean Monthly Discharge (MMMD)

5- Drought Duration

6- Yevjevich

7- Negative Run Sum

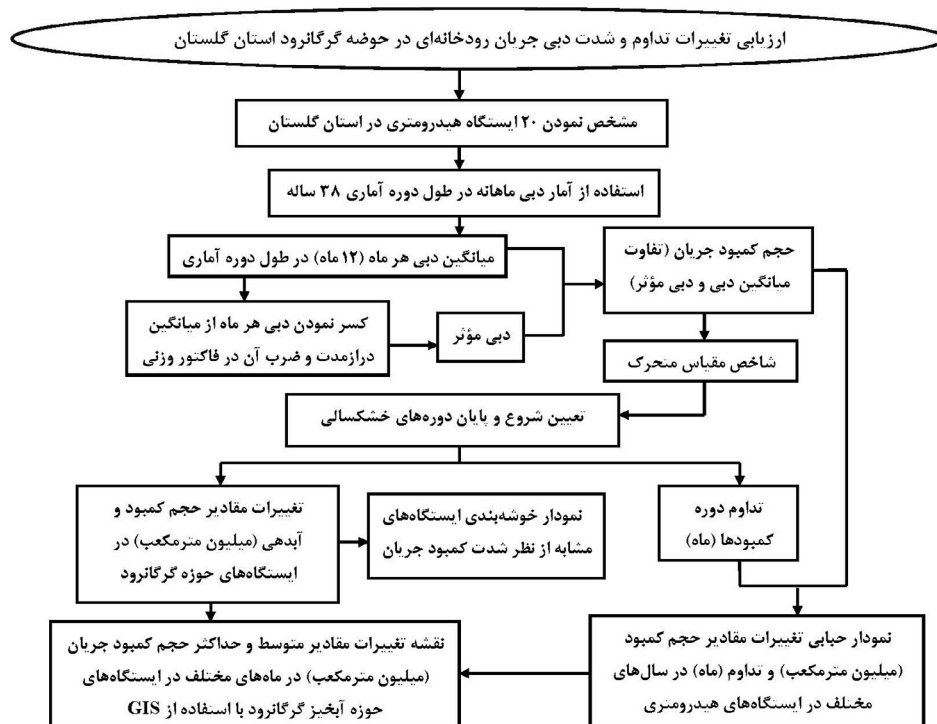
8- Average Deficiency

9- Intensity

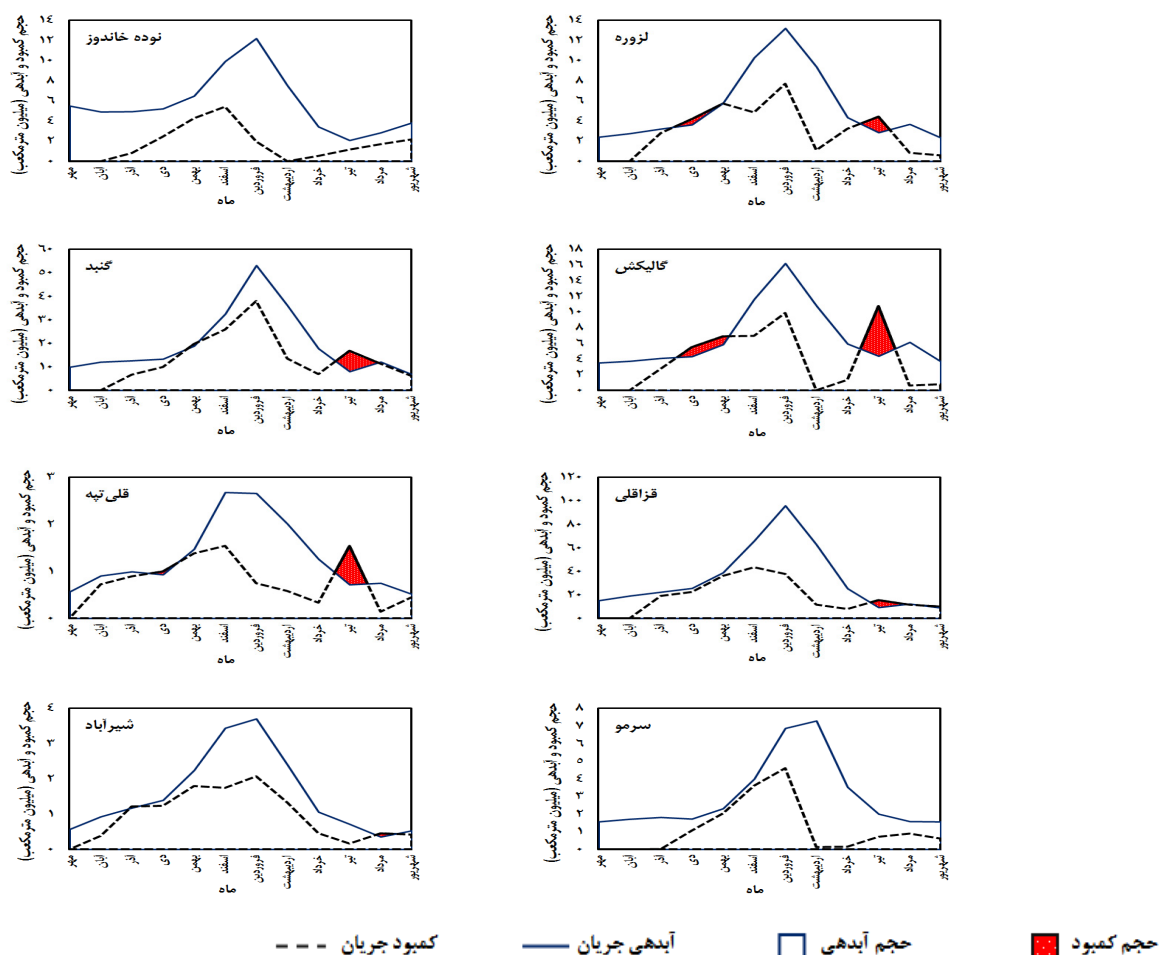
1- Mean Annual Discharge (MADdis)

2- Mean Monthly Deficit (MMD)

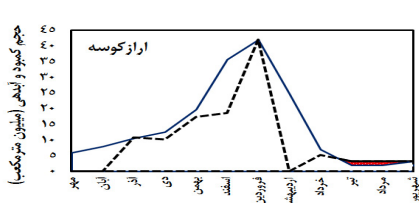
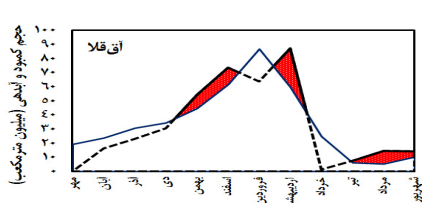
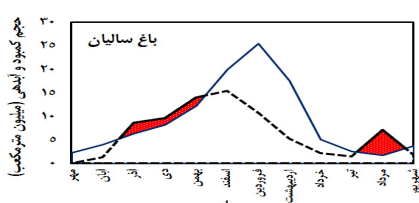
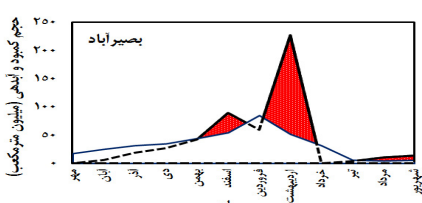
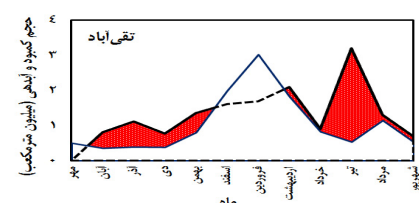
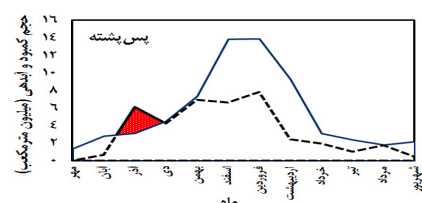
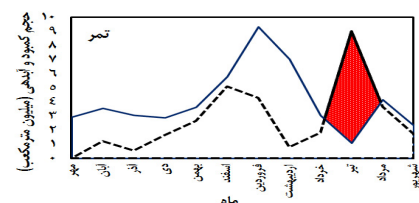
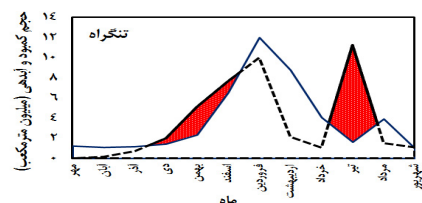
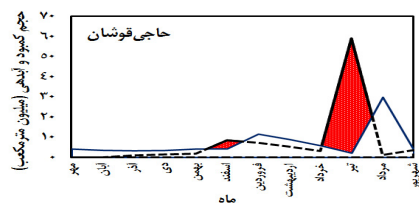
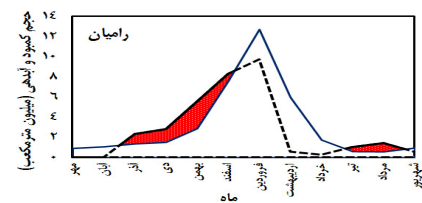
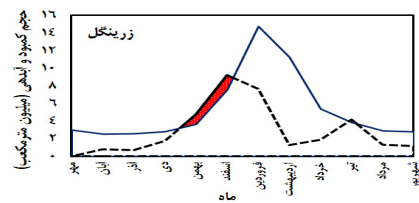
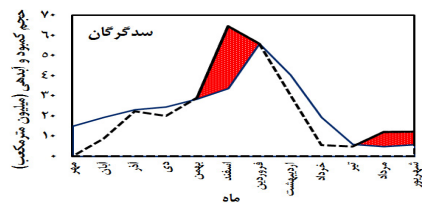
3- Mean Annual Deficit (MADdef)



شکل ۲: نمودار جریانی مراحل انجام پژوهش



شکل ۳: تغییرات مقادیر حجم کمبود و آبدی (میلیون مترمکعب) در ایستگاه‌های حوزه آبخیز گرگانرود

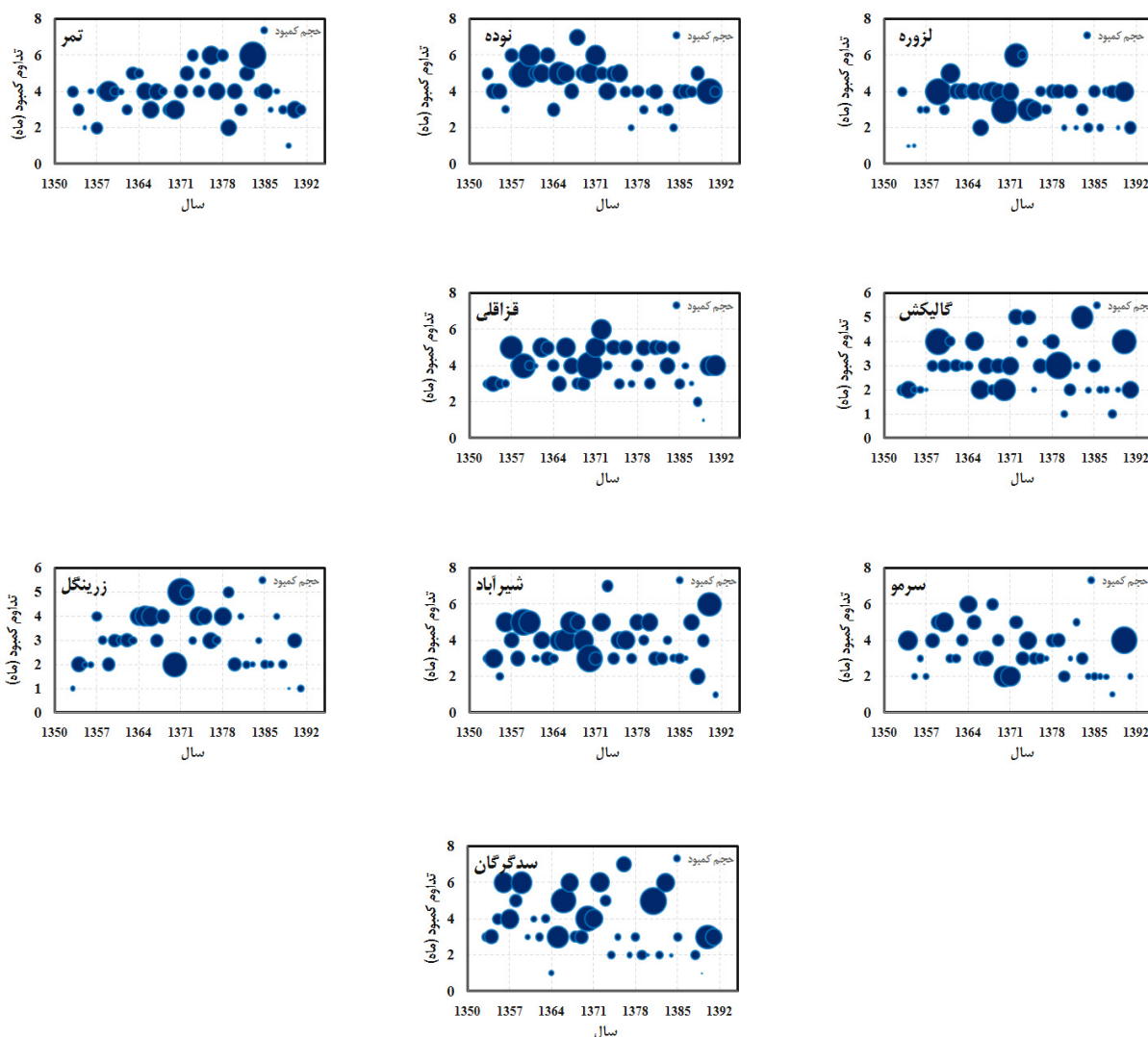


حجم کمبود حجم آبدی آبدی جریان کمبود جریان

شکل ۳: تغییرات مقادیر حجم کمبود و آبدی (میلیون مترمکعب) در ایستگاه‌های حوزه آبخیز گرگانرود

که در سایر ایستگاه‌ها حجم کمبود در ماه‌های مختلفی از سال، از مقدار آبدی بیش‌تر بوده است، ولی بیش‌ترین مقدار تغییرات در ایستگاه‌های مذکور نسبت به سایر ایستگاه‌ها رخ داده است. در

تغییرات مقادیر حجم کمبود و آبدی (میلیون مترمکعب) در شکل (۳) نشان می‌دهد که ایستگاه‌های حاجی‌قوشان، بصیرآباد و آق‌قلا بیش‌ترین مقدار حجم کمبود را دارند، به عبارتی می‌توان گفت



شکل ۴: تغییرات مقادیر حجم کمبود و تداوم کمبود (ماه) در سال‌های مختلف ایستگاه‌های حوزه آبخیز گرگانرود

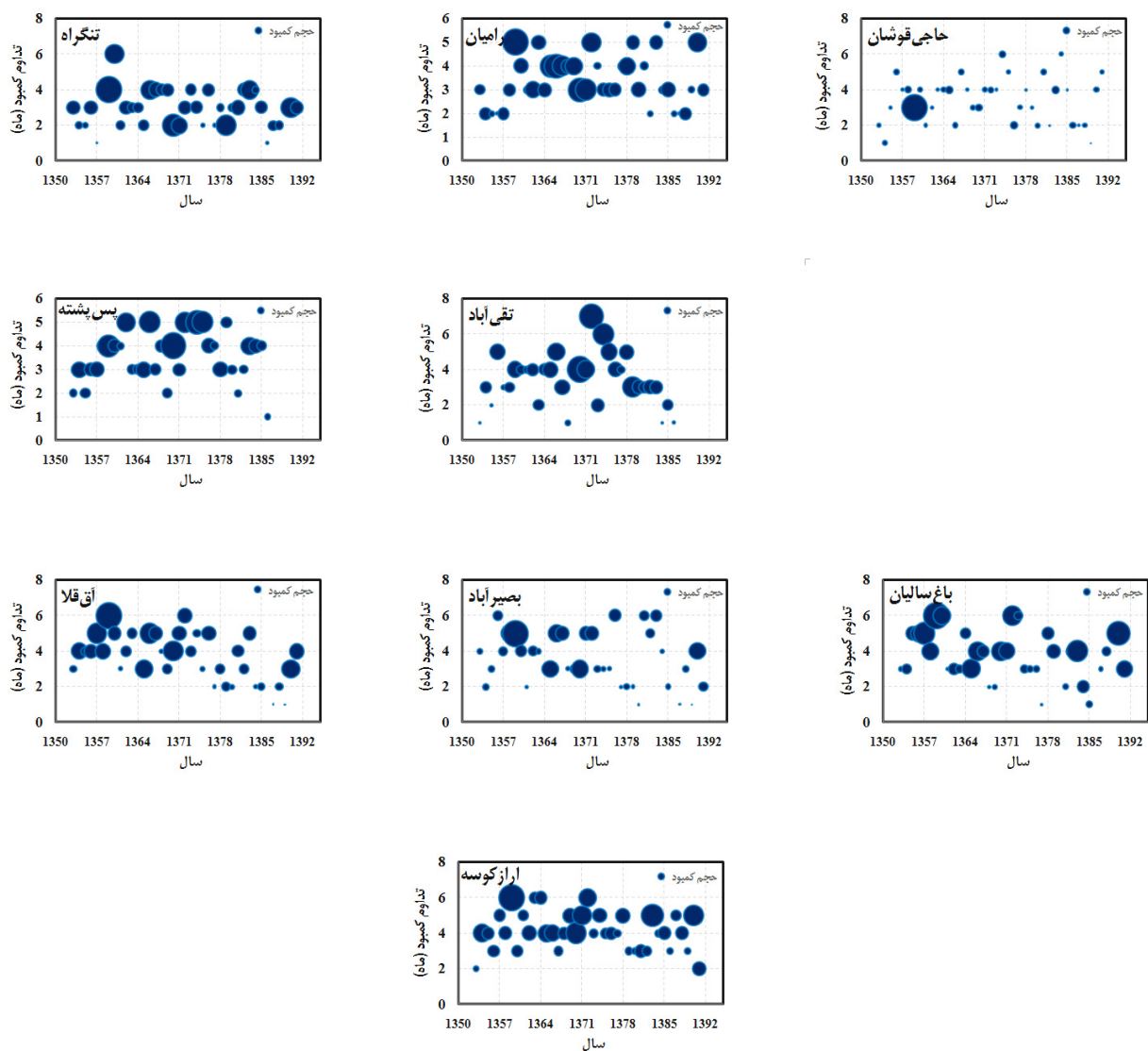
مشابه شدت کمبود جریان (نسبت حجم کمبود به حجم آبدهی) را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۵)، مشاهده می‌شود که ایستگاه‌های مشابه از نظر شدت کمبود جریان مشخص شده‌اند و همچنین ایستگاه‌های تقی‌آباد و بصیرآباد دارای بالاترین شدت کمبود جریان و ایستگاه‌های نوده‌خاندوز و سرمو کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. تغییرات مقادیر متوسط و حداکثر حجم کمبود جریان (میلیون مترمکعب) در ایستگاه‌های حوزه آبخیز گرگانرود به ترتیب در شکل‌های (۶) و (۷) ارائه شده است.

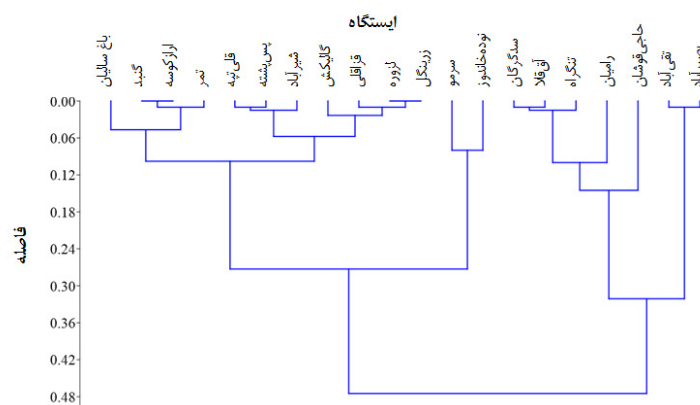
براساس نتایج شکل (۶)، بیش‌ترین مقدار متوسط حجم کمبود جریان (میلیون مترمکعب) مربوط به ایستگاه‌های بصیرآباد، آق‌قلا و قزاقلی می‌باشد، علاوه بر این مشاهده می‌شود که ایستگاه‌های واقع در مناطق بالادست دارای حجم کمبود کم‌تر می‌باشند. بنابراین

حالی که در ایستگاه‌های نوده‌خاندوز، سرمو و شیرآباد در تمام سال مقادیر آبدهی از حجم کمبود بالاتر بوده، در نتیجه کمبود جریان وجود ندارد. در شکل (۴) تغییرات مقادیر حجم کمبود (میلیون مترمکعب) و تداوم (ماه) در سال‌های مختلف در ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز گرگانرود ارائه شده است.

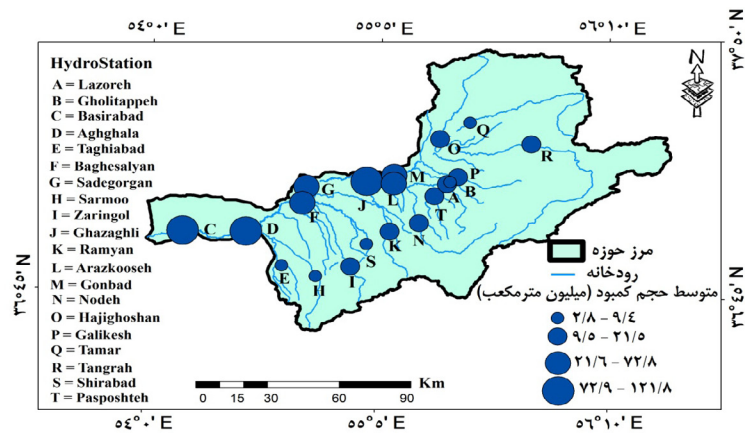
در مجموع براساس نمودارهای حبابی ارائه شده در شکل (۴)، حجم کمبود تداوم‌های ۴ و ۵ ماهه بیش‌تر از سایر تداوم‌هاست. علاوه بر این، تداوم کمبودها در بعضی از ایستگاه‌ها افزایشی و در تعدادی از ایستگاه‌ها بدون تغییر است و الگوی تغییرات مشخصی در افزایش یا کاهش تداوم کمبودها در ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده نشد. بنابراین در استفاده از نمودار مذکور، علاوه بر تغییرات زمانی، میزان بزرگی تغییرات نیز روی نمودار به صورت همزمان نمایش داده خواهد شد. شکل (۵)، نتایج خوشه‌بندی ایستگاه‌های



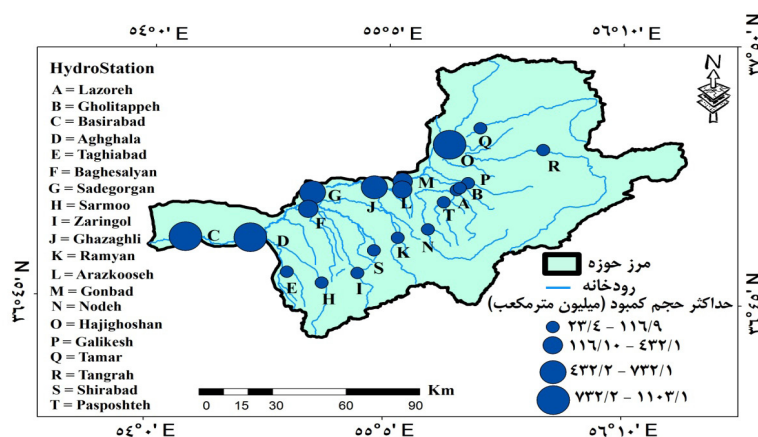
ادامه شکل ۴: تغییرات مقادیر حجم کمبود و تداوم کمبود (ماه) در سال‌های مختلف ایستگاه‌های حوزه آبخیز گرگانرود



شکل ۵: خوشه‌بندی ایستگاه‌های مشابه از نظر شدت کمبود جریان (نسبت حجم کمبود به حجم آبدهی)



شکل ۶: تغییرات مقادیر متوسط حجم کمبود جریان (میلیون مترمکعب) در ایستگاه‌های حوزه‌ی آبخیز گرگانرود



شکل ۷: تغییرات مقادیر حداکثر حجم کمبود جریان (میلیون مترمکعب) در ایستگاه‌های حوزه آبخیز گرگانرود

در آن‌ها مشاهده نشده است. چون در تمام سال مقدار دبی در این ایستگاه‌ها بیش‌تر بوده است و نسبت به سایر ایستگاه‌ها برای مصارف مختلف به مقدار کم‌تری مورد استفاده قرار گرفتند. از طرفی در مناطق بالادست که اکثراً از حوزه‌های آبخیز جنگلی تغذیه می‌شوند، جریان رودخانه‌ای کم‌تر دستخوش تغییرات بوده و حجم کمبود در آن‌ها به میزان کم‌تری مشاهده شد. در حالی که ایستگاه‌های آق‌قلا و بصیرآباد در بقیه ماه‌های سال دارای بیش‌ترین مقدار حجم کمبود جریان بوده‌اند، که می‌تواند ناشی از بارش و دبی کم در ماه‌های مذکور باشد. تغییرات حجم کمبود در سال‌های مختلف براساس نمودارهای حبابی شکل (۴) نشان داد که فراوانی تداوم‌های ۴ و ۵ ماهه بیش‌تر از سایر تداوم‌ها است. براساس نمودار حبابی ارایه شده، می‌توان تغییرات تداوم و حجم کمبود را در هر ایستگاه مشاهده نمود. هم‌چنین نتایج بدست آمده براساس شکل‌های (۶) و (۷) نشان داد که بیش‌ترین مقادیر متوسط و حداکثر حجم کمبود جریان به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های سدگران، حاجی‌قوشان، آق‌قلا و بصیرآباد می‌باشد. تحلیل ارتباط بین مقادیر حجم کمبود جریان آب

در ایستگاه‌هایی با دبی بالاتر مقدار متوسط حجم کمبود (میلیون مترمکعب) بیش‌تر برآورد شده است.

بیش‌ترین مقدار حداکثر حجم کمبود جریان (میلیون مترمکعب) در شکل (۷)، مربوط به ایستگاه‌های حاجی‌قوشان، آق‌قلا و بصیرآباد می‌باشد، علاوه بر این مشاهده می‌شود که الگوی تغییرات مکانی مقادیر حداکثر حجم کمبود جریان نشان می‌دهد که عموماً ایستگاه‌های بالادست، به‌دلیل دبی کم‌تر، دارای حجم کمبود کم‌تری در مقایسه با کل ایستگاه‌ها هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از داده‌های ماهانه دبی، پارامترهای خشکسالی هیدرولوژیکی از قبیل حجم کمبود جریان، تداوم و شدت دوره خشکی آن برای ۲۰ ایستگاه هیدرومتری حوزه آبخیز گرگانرود استخراج گردید و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بنابراین نتایج بدست آمده براساس شکل (۳) نشان داد که ایستگاه‌های نوده خاندوز و سرمو که در بالادست حوزه قرار دارند کمبود جریان

3- Barkhordary, J., and Khosroshahi, M. 2007. Investigation of effects of land cover and climate change on river flow (Case study: Minab watershed). Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 20(4): 191-199 (In Persian)

4- Bayazidi, M., Saghafian, B., Sedghi, S., and Kaveh, F. 2010. Analysis of hydrological drought in Karoon river basin by daily discharge data. Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 23(1):52-63 (In Persian)

5- Edossa, D.C., Babel, M.S., and Das Gupta, A. 2010. Drought analysis in the Awash River Basin Ethiopia. Water Resources Management, 24(7): 1441-1460.

6- Fleig, K., Tallaksen, L.M., Hisdal, H., and Demuth, S. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics. Hydrology and Earth System Sciences, 10: 535-552.

7- Herbst, P.H., Bredenkamp, D.B., and Barker, H.M.G. 1966. A technique for the evaluation of drought from rainfall data. Journal of Hydrology, 4: 264-272.

8- Hisdal, H., and Tallaksen, L.M. 2003. Estimation of regional, meteorological and hydrological drought characteristics: a Case study for Denmark. Journal of Hydrology, 281: 230-247.

9- Hisdal, H., Tallaksen, L.M., Clausen, B., Peters, E., and Gustard, A. 2004. Hydrological drought characteristics in developments in water science. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Science, 48: 139-198.

10- Kahya, E., and Kalayci, S. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. Journal of Hydrology, 289(1-4): 128-144.

11- Mosaedi, A., KhaliliZade, M., Mohammadi, A. 2008. Drought monitoring in Golestan Province. Journal of Agricultural Science and Natural Resources. 15(2): 176-183 (In Persian)

12- Mostafazadeh, R., Sheikh, V.B. 2012. Rain-gauge density assessment in Golestan province using spatial correlation technique. Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), 93:79-87 (In Persian)

13- Mostafazadeh, R., Vafakhah, M., and Zabihi,

در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که حجم کمبود در ایستگاه‌های واقع در محدوده پایین‌دست منطقه مورد مطالعه در ماه‌های مختلفی از سال، از مقادیر آبدی بیش‌تر بوده است. بنابراین براساس نتایج خوشه‌بندی ایستگاه‌های مشابه از نظر شدت کمبود جریان مشخص شده‌اند و هم‌چنین ایستگاه‌های تقی‌آباد و بصیرآباد دارای بالاترین شدت کمبود جریان و ایستگاه‌های نوده‌خاندوز و سرمو کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. به عبارتی می‌توان گفت که ایستگاه‌های واقع در سرشاخه اصلی گرگانرود که در درازمدت دارای دبی بیش‌تر بوده‌اند دچار حجم کمبود 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. بنابراین نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های پاندی و همکاران [۱۵] و ادوسا و همکاران [۵] به دلیل وقوع خشکسالی هیدرولوژیک در ماه‌های مختلف و هم‌چنین با نتایج ونلون و لاه [۲۰] مبنی بر شدت خشکسالی هیدرولوژیک هم‌خوانی دارد. علاوه بر اثرات ناشی از تغییر اقلیم به صورت افزایش تبخیر-تعرق و تغییر الگوی بارش، اثر فعالیت‌های انسانی بر چرخه هیدرولوژیک مانند تغییر کاربری اراضی، برداشت، انحراف آب و ساخت مخازن می‌تواند منجر به کاهش آب قابل دسترس و وقوع خشکسالی هیدرولوژیک شود. مسائلی از قبیل برداشت آب، تقاضای آب برای مصارف کشاورزی و صنعتی در پایین‌دست حوزه‌ها، بحران کم‌آبی را با شدت بیش‌تری نسبت به ایستگاه‌های بالادست نشان می‌دهد. در مجموع می‌توان گفت که در اکثر ایستگاه‌ها کمبود جریان در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد مشاهده شده است. هم‌چنین میزان حجم کمبود جریان (میلیون مترمکعب) در ایستگاه‌های واقع در مناطق بالادست کم‌تر بود. براساس نتایج، می‌توان در مناطق پرآب در خصوص استفاده از جریان مازاد در رودخانه‌ها برنامه‌ریزی نمود و علاوه بر این مناطق با شدت بالای وقوع خشکسالی می‌تواند در برنامه‌ریزی جهت کنترل بهره‌برداری از منابع آب‌های سطحی مدنظر قرار گیرد. بنابراین تحلیل خشکسالی براساس شدت و تداوم که از فاکتورهای مهم خشکسالی هستند در ارائه راهکارها و استراتژی‌های مناسب تأثیر زیادی دارد و کمک بزرگی به مدیران و برنامه‌ریزان سیستم‌های منابع آب در شرایط خشکسالی خواهد کرد.

منابع

1- Abdulmalek, A., Asheikh, A., and 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.

2- Alijani, R., Vafakhah, M., and Malekian, A. 2016. Spatial and temporal analyses of monthly stream flow deficit intensity in Gorganroud Watershed. Iran. Ecopersia, 4(1): 1313-1330.

- 18- Shahrokhvandi, S.M., Lashnizand, M., and Khakpour, M. 2009. Investigation of hydrologic drought and its relation with precipitation in Khorramabad river watershed, Environmental based territorial planning. 2(6): 140-156 (In Persian)
- 19- Van Huijgevoort, M.H.J., Van Lanen, H.A.J., Teuling, A.J., and Uijlenhoet, R. 2014. Identification of changes in hydrological drought characteristics from a multi-GCM driven ensemble constrained by observed discharge. Journal of Hydrology, 512: 421-434.
- 20- Van Loon, A.F. and Laaha, G. 2015. Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. Journal of Hydrology, 526: 3-14.
- 21- Yevjevich, V. 1967. An objective approach to definition and investigations of continental hydrologic droughts. Hydrology papers, Colorado State University, Fort Collins, USA, pp 23.
- 22- Yildiz, O. 2014. Spatiotemporal analysis of historical droughts in the Central Anatolia, Turkey. Gazi University Journal of Science, 27(4): 1177-1184.
- M. 2015. Analysis of Monthly Wet and Dry Spell Occurrence by using Power Laws in Golestan Province, Iran. Ecohydrology, 2(2):29-43 (In Persian)
- 14- Ochoa-Rivera, J., Andreu, J., and García-Bartual, R. 2007. Influence of inflows modeling on management simulation of water resources system. Journal of Water Resources Planning and Management, 133: 106-116.
- 15- Pandey, R.P., Mishra, S.K., Singh, R., and Ramasastri, K.S. 2008. Streamflow drought severity analysis of Betwa River System (India). Water Resources Management, 22: 1127-1141.
- 16- Samiee, M., Teluari, A. 2008. Investigation of hydrologic drought severity and duration at Tehran Fars province watersheds. Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 21(2): 21-29 (In Persian)
- 17- Shafiei, M., Raeini-Sarjaz, M. 2016. Assessment of the Impact of Meteorological Drought and Wetness Trends on the Parishan Lake Water Level Decline. Journal of Watershed Management Research. 6(12) :118-126 (In Persian)

**Abstract****Severity and Duration Variations of Monthly Stream Flow in Gorganroud Watershed, Golestan Province**Kh. Haji¹, R Mostafazadeh^{*2} and A. Esmali-Ouri³

Received: 2017/05/15 Accepted: 2018/01/23

The assessment of wet and dry hydrological periods is the primary and necessary basis of water resources management and planning. The aim of this study was to determine the hydrological drought spells, and its severity and duration variations at monthly time scale. For this purpose, 38-year recorded data (1975-2013) were used over 20 hydrometric stations in Golestan Province. The weighting factor of drought importance for each month was calculated based on the flow distribution in different months. The subtracted mean discharge of particular month from the long-term average was multiplied by the weighting factor to determine the effective discharge. The difference of mean monthly discharge and effective discharge was considered as monthly flow deficit. The onset and end of hydrological drought periods were defined and the cumulated flow deficits were calculated. According to the results, the NodeKhandoz and Sarmoo stations had no deficit amount in all months of the year which located at upland portions of the study area; while, the flow deficit durations were observed in July and August in almost all stations. The variations of flow deficit volume showed that the frequency of 4-5 month durations were higher than other duration spells. According to the clustering results, the similar stations (Taghiabad and Basirabad) had the highest flow deficit severity; while, the lowest flow deficit severity was observed in NodeKhandoz and Sarmoo stations.

Keywords: Deficit volume, Hydrological drought, Effective discharge, Flow deficit severity

1. M.Sc. in Watershed Engineering, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili,

2. Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Corresponding Author: Email: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir.

3. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili,