

ارزیابی طول دوره‌های خشک وابسته به بارش با نگرش دورنمای تغییر اقلیم در استان کهگیلویه و بویراحمد

سید کرامت هاشمی عنا*

گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۳/۲۶ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵

چکیده

در این پژوهش برای بررسی طول دوره‌های خشک در استان کهگیلویه و بویراحمد ابتدا پایگاه ماتریس داده‌ای از بارش روزانه برای دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰ مربوط به ۲۵ ایستگاه بارانسنجی و سینوپتیک استان تشکیل گردید. جهت تعیین میزان تشابه رفتاری داده‌ها در تمامی پهنه‌ها و تعریف و تخصیص تمامی ایستگاه‌ها بر مبنای یک معیار همگن، تست همگنی (HT) انجام شد تا صحت‌سنجی داده‌ها مبنایی برای مطالعات پایه قرار گیرند. داده‌های بارش به کمک آزمون نیکوئی برازش (Goodness of fit test)، برای تعیین درجه اختلاف داده‌های مشاهداتی و مورد انتظار برازش شدند. برای تداوم و زمان برگشت دوره‌ها از الگوریتم توزیع تجربی مرتبه دوم زنجیره مارکوف استفاده شد. نتایج نشان داد که رخداد روز بارانی پس از یک روز بارانی دیگر (n_{11})، در مناطق مرطوب شرقی با ۲۱ درصد احتمال از درصد رخداد کمی برخوردار است. در مقابل در پهنه‌های خشک استان (مرکز و جنوب)، فراوانی و درصد رخداد یک دوره خشک به دنبال دوره خشک دیگر یعنی تابع n_{00} به ترتیب با ۲۱۵۹ روز و ۸۰ درصد احتمال رخداد محتمل‌تر است. در نهایت پیش‌یابی تغییرات اقلیمی با نگرش ارزیابی دوره‌های خشک با الگوریتم مدل HADGEM2-ES مربوط به گزارش پنجم هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC-IR5)، در دهه میانی نشان داد که پهنه‌های مرطوب استان مانند یاسوج، سی سخت و کاکان پهنه‌های خطرپذیر در برابر نوسانات اقلیمی هستند و به‌طور میانگین ۱۵ تا ۱۸ درصد خشک‌تر خواهند شد.

واژه‌های کلیدی: بارش، تغییر اقلیم، دوره‌های خشک، کهگیلویه و بویراحمد، مدل‌سازی اقلیم.

مقدمه

تغییرپذیری رفتار بارش در گستره ایران بیش از سایر متغیرهای اقلیمی است. این تغییرپذیری در بسیاری از مناطق کوهستانی و نسبتاً پربارش به دلیل تنوع در توپوگرافی آشکارتر و پررنگ‌تر است (هاشمی‌عنا، ۱۳۹۷). این تغییرپذیری مکانی و زمانی معیار مناسبی برای ارزیابی مهبایی بالقوه‌ی منابع آب است و همین علت سبب توزیع نایک‌نواخت منابع آب در ایران شده است (مسعودیان، ۱۳۹۰). به عبارتی تغییرپذیری و تنوع زمانی و مکانی بارش می‌تواند موجب تنش‌های شدید آبی گردد (Ruiz et al, 2016). این تغییرپذیری سبب تشدید دوره‌های خشک می‌شود. روزهای خشک به معنای توالی روزهای بدون بارش است (Caloiero et al, 2015; Sirangelo et al, 2019). دوره‌های خشک شدید که اغلب به خشکسالی‌های هواشناسی اشاره دارد می‌تواند سبب مخاطرات در بخش‌هایی مانند: کشاورزی، آتش‌سوزی‌های جنگلی، کاهش جریان رودخانه‌ای، افزایش انتشار آلاینده‌های جوی، شیوع بیماری‌های تنفسی، کاهش ذخیره و کیفیت آب، فقر پوشش گیاهی و کاهش ذخیره رطوبی خاک شود (Breinl et al, 2020). از طرفی تحلیل، شناخت و مدل‌سازی آماری و عددی بارش جهت بررسی ویژگی‌های دوره‌های خشک در مقیاس‌های محلی آب و هوا یکی از چالش‌های اساسی در تحقیقات اقلیمی است (Guzman and Gershunov, 2019) محمودی و همکاران، (۱۳۹۲). رخداد دوره‌های خشک و شناخت دقیق توالی آن اهمیت زیادی در مطالعات تغییر اقلیم دارد. توالی این رخدادها ناشی از رفتار پیچیده مکانی- زمانی بارش است (Sanchez et al, 2011). از طریق شناخت کمی و مدلی رفتار بارش می‌توان به طول دوره‌های خشک و آشکارسازی رخداد بارش‌هایی که منجر به طولانی‌تر شدن این

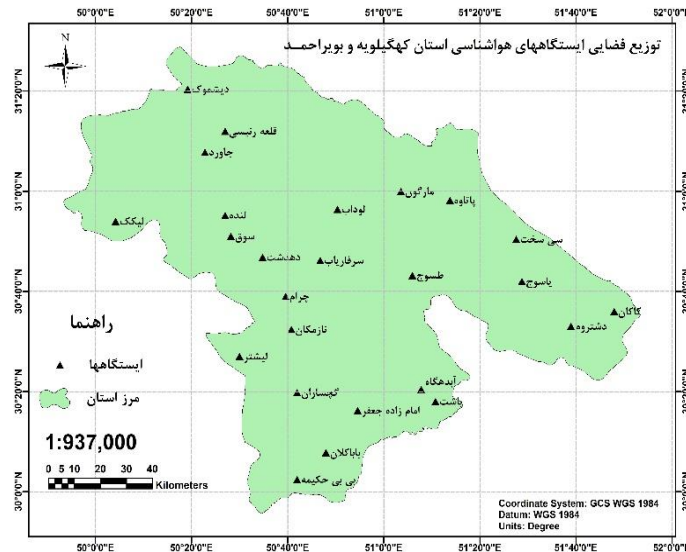
دوره‌هاست، پرداخته شود (هاشمی‌عنا، ۱۴۰۰). برای رفع این محدودیت و پیچیدگی‌ها در فرایند پارامتریزاسیون (خلاصه کردن)، از مدل‌های آماری آب و هوا استفاده می‌شود (Bouagila and Sushama, 2013). سیندریک و همکاران (Cindrić et al, 2010)، این مدل‌ها را ابزار مناسبی برای ریزمقیاس نمودن داده‌های بارش و تبدیل آن به فرمت قابل استفاده در مقیاس محلی و منطقه‌ای می‌دانند. ژائو و همکاران (Xia et al, 2013)، برای مناطق گسترده‌ای از مالزی با پیش‌یابی ویژگی‌های آب و هوایی مخصوصاً بارش نشان داد که خطر ابتلا به شرایط خشکی افزایش یافته و حداکثر طول دوره‌های خشک نیز رخداد بیشتری داشته است. افزایش طول دوره‌های خشک بلند مدت در شرایط تغییر اقلیم می‌تواند منجر به تنش‌های آبی و تأثیر مستقیم بر بیلان آب‌های سطحی و زیرزمینی و در پی آن سبب تضعیف بخش‌های مختلفی مانند کشاورزی و فعالیت‌های اجتماعی- اقتصادی در مناطق خشک و نیمه خشک شود (Okoli et al, 2019; Carlos et al, 2019). فراوانی رخداد دوره‌های خشک و تر در مناطق خشک تأثیرپذیری بیشتری از رفتار بارش در مقیاس روزانه دارند (Thoithi et al, 2021). بررسی رگرسیون و همبستگی بین روزهای تر و خشک با تغییرپذیری بارش، معیار مناسبی برای تعیین طول دوره‌های خشک است (Li et al, 2017). علاوه بر تغییرپذیری بارش آستانه‌های بارش در تعیین طول دوره‌های خشک مهم هستند. بارش‌های با آستانه‌های کمتر از ۵ میلی‌متر در نواحی خشک و نیمه خشک اثرات بیشتری را بر نوسان دوره‌های خشک می‌گذارند (Tichavský et al, 2019)؛ ذالفقاری و میرزایی، (۱۳۹۶). الگوهای خاص محلی و منطقه‌ای مانند شرایط توپوگرافی در تغییر و تعیین آستانه‌های بارشی بسیار اثرگذار هستند. از طرفی توالی‌های تر

مواد و روش‌ها

با استناد به اهداف این پژوهش، روش اجرای آن مبتنی بر چند گام اساسی است:

در گام اول برای شناخت و توصیف رفتار بارش پایگاهی از ماتریس داده‌های بارش در بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله از (۱۹۹۰-۲۰۲۰)، برای ۸ ایستگاه باران سنجی استان تشکیل شد. نقص و خلأ آماری داده‌ها برطرف و داده‌های روزهای ناقص میان‌یابی، ارزش‌گذاری و راستی‌آزمایی شدند. تست همگنی (HT)^۱ جهت بررسی میزان تشابه رفتاری داده‌های ایستگاه‌ها و تخصیص تمامی ایستگاه‌ها به یک معیار همگن انجام تا مبنای مطالعات پایه قرار گیرند. در گام دوم داده‌های بارش به کمک آزمون نیکوئی برازش (Goodness of fit test)، برای تعیین درجه اختلاف داده‌های مشاهداتی و مورد انتظار برازش شدند. به کمک برنامه‌ها و کد نویسی در محیط نرم‌افزار متلب و R در مقیاس فصلی و ماهانه با آستانه ۵ میلی‌متر محاسبه تا مبنای استخراج و پهنه‌بندی دوره‌های خشک در نرم‌افزار ArcGIS قرار گیرند. رفتار دوره‌های خشک با تداوم‌های مختلف به کمک زنجیره آماری مارکوف مرتبه دوم تحلیل و پهنه شدند. در گام سوم برای پیش‌یابی رفتار دوره‌ها در گستره‌های استان در دهه میانی (۲۰۵۰) با استناد به سناریوهای مدل HADGEM2-ES مربوط به گزارش پنجم هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC-IR5)، اقدام به ریزمقیاس و بازتولید داده‌ها در محیط آماری نرم افزار SDSM برای تمامی ایستگاه‌ها شد. در گام نهایی رفتار فصلی و پهنه‌ای دوره‌های خشک در افق آینده ترسیم گردید. چگونگی انجام هر گام را در بخش‌های پژوهش شرح داده خواهد شد.

و خشک و تداوم‌پذیری آن‌ها براساس آستانه‌های بارشی مختلف، متفاوت است (Adane et al, 2021). در مطالعات جدیدتر بازخورد و پیش‌یابی رفتار دوره‌های خشک در دهه‌های آتی با نگرش تغییر اقلیم از اهمیت خاصی برخوردار است. در مطالعات داخلی، تحقیقاتی که بتواند باب جدیدی را در این زمینه باز نماید، بسیار نادر است. در جدیدترین پژوهش (هاشمی‌عنا، ۱۴۰۰)، به طبقه‌بندی دوره‌های خشک در گستره‌ی ایران پرداخته و مشخص شد که بیشترین تغییرات مربوط به پهنه شمال‌غرب است. فنگ و همکاران (Feng et al, 2021)، به بررسی حداکثر طول دوره‌های خشک با استناد به مدل‌های منطقه‌ای کوردکس (CORDEX)، برای جنوب‌شرق چین پرداخته است. تحقیقات مشابهی توسط (Breinl and Van, 2018; Wilks, 2018; Ratan and Venugopal, 2013) در مکان‌های مختلف انجام شده است. نظر به اهمیت موارد ذکر شده و با توجه به اهمیت مواردی مانند؛ قرارگیری استان در منطقه خشک و نیمه خشک جنوبی، تنوع توپوگرافی استان، کاهش ریزش‌های جوی و وقوع خشکسالی‌های مخرب و پیامد آن کاهش منابع آب و تأثیر آن بر بخش‌های مهمی مانند کشاورزی، لزوم بررسی رفتار طول دوره‌های خشک و خشکسالی‌ها در اقلیم آینده استان از اهمیت خاصی برخوردار است. لذا چارچوب این مطالعه در راستای تحقق یافته‌هایی است که پاسخگوی این پرسش باشد که دورنمای رفتاری دوره‌های خشک در آینده استان به چه میزان چالش برانگیز است؟



شکل ۱: توزیع فضایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

σ_v و μ_v به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های شبیه‌سازی شده بارش و $V_{observe}$ ، مقادیر واقعی و برداشت شده در ایستگاه‌ها و مبتنی بر آماره V است. گشتاور آماره H در سه حالت شامل ضریب تغییرات خطی (Lcv)^۲، ضریب چولگی خطی ($Lskew$) و ضریب کشیدگی خطی ($Lkurt$)، با استفاده از روابط (۲، ۳ و ۴) محاسبه گردید تا درجه همگنی ایستگاه‌ها محاسبه شود. رابطه ۲)

$$H_1 = \sum_{i=1}^N \left(n_i (Lcvi - \bar{Lcv})^2 / \sum_{i=1}^N n_i \right)$$

رابطه ۳)

$$H_2 = \sum_{i=1}^N \left(n_i (Lskew - \bar{Lcv})^2 / \sum_{i=1}^N n_i \right)$$

رابطه ۴)

$$H_3 = \sum_{i=1}^N \left(n_i (Lkurt - \bar{Lskew})^2 / \sum_{i=1}^N n_i \right)$$

سه آماره H برآیند حاصل از تغییرپذیری داده‌های نهایی را نشان می‌دهد.

تست همگنی گشتاور خطی (Test of Homogeneous)

یکی از روش‌های مهم برای ارزیابی پایایی تحلیل فراوانی منطقه‌ای بارش و دوره‌های خشک، تعریف درجه همگنی است (Hosking, 1997; Aydogan and Onsoy, 2016). اگر تغییرپذیر ایستگاه‌ها و داده‌های مربوطه دارای پراکنش زیادی باشند احتمال و یا درجه تعلق فضایی این ایستگاه‌ها به یک مجموعه واحد بایستی آزمون شوند. بدین منظور از آزمون همگنی گشتاورهای خطی برای بررسی درجه تغییرپذیری و میزان پراکنش ایستگاه‌ها استفاده شد. در واقع این آزمون میزان تعلق ایستگاه‌ها را به یک مجموعه و معیار واحد بررسی می‌کند. داده‌های مشاهداتی با روش گشتاورهای خطی براساس سری "کاپا" برآزش می‌شوند تا داده‌های هر ایستگاه به وسیله شبیه‌سازی عددی (ریاضی) معادل‌سازی و بازتولید شوند (رابطه ۱). نهایتاً گشتاورهای خطی نواحی مشاهداتی را با گشتاور سری شبیه‌سازی شده مقایسه می‌شود (Hosking and Wallis, 1997).

رابطه ۱)

$$H = \frac{V_{observe} - \mu_{v.simulate}}{\sigma_{v.simulate}}$$

$f_{L(\ell)}$ تابع احتمال انتقال دوره‌ها W - احتمال روزهای تر یا بارانی D - احتمال رخداد روزهای خشک. برای استخراج حالت‌های گذار یا انتقال دوره‌ها، ضروری است که رابطه ۷ را به آرایش ماتریسی برای ایجاد رابطه ۸ تبدیل کرد (Selvaraj, 2010).

رابطه ۸)

$$D \begin{pmatrix} D & W \\ n_{00} & n_{01} \\ n_{10} & n_{11} \end{pmatrix} W$$

در رابطه ماتریسی فوق n_{00} فراوانی رخداد یک روز خشک در پی یک روز خشک دیگر، n_{01} ، فراوانی رخداد یک روز بارانی در پی یک روز خشک، n_{10} ، و n_{11} تعداد رخداد روزهای بارانی به دنبال همدیگر را نشان می‌دهد. در این ماتریس درصد احتمال رخداد روزهای بارانی و خشک محاسبه و ارائه گردید.

بحث و نتایج

نتایج تست همگنی و گشتاور خطی ایستگاه‌ها

به منظور مشخص نمودن درجه همگنی و تعیین ایستگاه‌هایی که در محدوده فضایی τ_3 و τ_4 قرار دارند تست همگنی گشتاور هاسکینگ انجام شد تا داده و ایستگاه‌های پرت و ناهمگن مشخص شود. طبق تعریف ایستگاه‌هایی که مؤلفه‌ی آزمون H_1 برای L_{cv} ، H_2 برای ترکیب L_{cv} و L_{skew} و نهایتاً H_3 برای ترکیب L_{skew} و L_{kurt} ناهماهنگی آماره‌ها در آنها کمتر از ۱ باشد جزء ایستگاه‌های همگن محسوب می‌شوند.

ایستگاه‌هایی که آماره آنها بیش از ۱ باشد از مرحله مطالعاتی و دیگر مراحل پژوهش کنار گذاشته شدند. ایستگاه‌های لوداب و آبدهگه دارای چنین شرایطی بودند. (جدول ۱).

تعیین توزیع اولیه به کمک آزمون نیکویی برازش (Goodness of fit test)

در مواقعی که داده‌های موجود در یک پهنه همگن بوده و متعلق به یک توزیع پارامتری واحد باشند آزمون برازندگی مبتنی بر گشتاور خطی سری همگن انجام می‌گیرد تا بهترین توزیع انتخاب شود. این توزیع براساس نرم افزار (XFIT)، استفاده و ساده‌سازی می‌شود (متن این نرم‌افزار توسط هاسکینگ^۳ به زبان فرترن ارائه شده است). در واقع اندازه نیکویی برازش تفاوت بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر مورد انتظار در مدل بررسی شونده را خلاصه سازی می‌کند. در این روابط $Dist$ اشاره به توزیع منتخب (کاپا)، و β_4 و σ_4 به ترتیب مقدار اریب و انحراف از معیار τ_4 یا ضریب کشیدگی خطی است که به شکل دو معادله ۵ و ۶ محاسبه می‌شوند.

رابطه ۵)

$$Z^{Dist} = (\tau_4^{Dist} - \bar{\tau}_4 + \beta_4) \sigma_4$$

رابطه ۶)

$$\beta_4 = \frac{\sqrt{[1/(N_{sim}-1)] \sum_{m=1}^{N_{sim}} (\bar{\tau}_{4m} - \bar{\tau}_4)^2 - N_{sim} \beta_4^2}}{}$$

استخراج تداوم‌ها و حالت‌های انتقال رخداد‌های خشک

تداوم طول دوره‌های خشک تعیین کننده درجه خشکی یک ناحیه‌ی بارشی است. بعد از بررسی همگن بودن داده‌ها انتخاب بهترین روش آماری برای بازتولید داده‌ها اساس کار است. برای محاسبه احتمال انتقال شرطی دوره‌های خشک و تر از الگوریتم مرتبه دوم زنجیره مارکوف استفاده شد. دلیل استفاده از این مرتبه این است که علاوه بر تداوم به انتقال و بازگشت دوره‌ها، به توزیع تجربی نیز توجه ویژه دارد.

رابطه ۷)

$$f_{L(\ell)} = \begin{cases} P(W | WD) & \ell = 1 \\ P(D | WD) P^{\ell-2} (D | DD) P(W | DD) & \ell \geq 2 \end{cases}$$

جدول ۱: آزمون همگنی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	Lcv	skew-L	kurt-L	D _i
گچساران	۰/۶۶	۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۴۳
یاسوج	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۱۸
سی سخت	۰/۱۷	۰/۵۲	۰/۳۸	۰/۱۲
پاتاوه	۰/۱۳	۰/۵۹	۰/۲۹	۰/۰۶
دهدشت	۰/۱	۰/۲۹	۰/۷۵	۰/۰۱
دیشموک	۰/۵	۰/۳۰	۰/۰۹	۰/۱
لوداب	۴/۲	۶/۸	۲/۱۲	۲/۸۹
قلعه رئیسی	۰/۲۳	۰/۹	۰/۴۵	۰/۲۱
طسوج	۰/۱۶	۰/۷۸	۰/۲	۰/۰۸
لیکک	۰/۸۰	۰/۱۳	۰/۵۰	۰/۱۱
باباکلان	۰/۱۴	۰/۶۷	۰/۲۱	۰/۱
باشت	۰/۲۶	۰/۳	۰/۷	۰/۳۹
مارگون	۰/۴	۰/۹	۰/۲۷	۰/۵۵
چرام	۰/۲۳	۰/۷۱	۰/۱۸	۰/۰۳
سرفاریاب	۰/۶	۰/۲۱	۰/۳۸	۰/۰۳۳
بی بی حکیمه	۰/۱۸	۰/۶۸	۰/۰۹۶	۰/۱۴
کاکان	۰/۰۸۹	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۰۵۶
آبدهگاه	۱/۳۶	۶/۱۳	۲/۱	۲/۲۳
میانگین وزنی	۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۲۷	-

بعد از این که در مرحله قبل نتایج فرایند توزیع همگن برای تمامی ایستگاه‌ها مشخص گردید، ضرورت داشت این توزیع تحت برازش نیکویی مبتنی بر آماره Z قرار گیرد تا نتایج در تمامی ایستگاه‌ها از قطعیت بیشتری برخوردار باشند. میانگین، انحراف معیار، میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی توزیع لجستیک تعمیم یافته حاکی از آن است که گشتاور خطی و همگنی در تمام پهنه‌ها به جزء ایستگاه سوق

تأییدیه لازم را دریافت نموده‌اند. جدول ۲ بخشی از خروجی نتایج آزمون همگنی و برازندگی را نشان می‌دهد. میانگین و برآیند تمامی ایستگاه‌ها برای آماره‌های در سطح ۰/۴۳ تعدیل گردید (میانگین آماره‌های H₁ تا H₃). در واقع این روش تغییرات بین ایستگاهی در گشتاور خطی را به حداقل می‌رساند تا اعتماد بیشتری در استفاده از داده‌های شبکه حاصل شود.

جدول ۲: نتایج تحلیل آزمون‌های همگنی و برازندگی

N=۶۶۵۰	ابعاد ماتریس شبیه‌سازی شده
SD=۰/۳۴	انحراف معیار برای داده‌های مشاهداتی
SD=۰/۴۱	انحراف معیار برای داده‌های شبیه‌سازی شده
۰/۳۴	میانگین گشتاور آماره Lcv
۰/۳۹	میانگین گشتاور آماره L-skew
۰/۲۷	میانگین گشتاور آماره L-kurt
۰/۲۵	مقادیر آزمون استاندارد H ₁
۰/۴۴	مقادیر آزمون استاندارد H ₂
۰/۵۴	مقادیر آزمون استاندارد H ₃

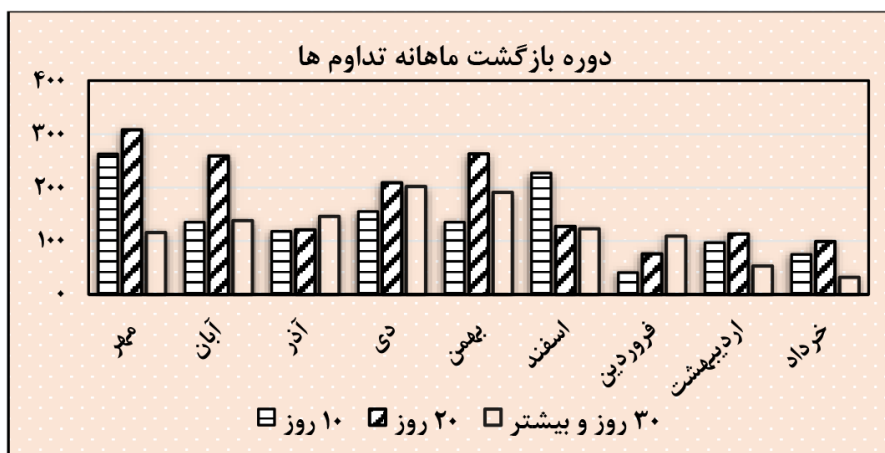
بازگشت تداوم‌ها و احتمال رخداد حالت‌های انتقال دوره‌های خشک

نتایج ماتریس وضعیت توابع احتمال انتقال حالت‌های بارانی و خشک برای حالت دوره‌ها در گستره‌ی استان نشان داد که در پهنه‌های خشک استان مانند نیمه جنوبی و غربی استان احتمال رخداد یک دوره خشک بعد از روزهای بارانی بسیار محتمل تر است. به‌طور کلی بررسی رخداد‌های ماهانه‌تر و خشک نشان داد که در سراسر پهنه استان دوره‌های خشک با تداوم ۳۰ روزه و بیشتر، دارای بیشترین احتمال رخداد و کوتاه‌ترین دوره بازگشت هستند. ماه‌های سرد سال (آذر، دی و بهمن)، بیشترین دوره بازگشت (میانگین ۱۸۰ روز) و اردیبهشت و خرداد کم‌ترین دوره بازگشت (میانگین ۶۴ روز) را دارا می‌باشند. در پهنه جنوب، مرکز و غرب استان مناطقی مانند (چرام، باباکلان، لیستر، دهدشت، لیکک، امام زاده جعفر و گچساران)، تداوم رفتاری دوره‌های خشک منطبق

با این الگو است (جدول ۳). در بررسی الگوی تداوم بازگشت، ماه‌های تابستان به دلیل خشکی ذاتی و عدم بارش قابل ملاحظه از چرخه بررسی حذف گردیدند. ماتریس انتقال و رخداد دوره‌ها نشان داد که در پهنه‌های خشک استان (مرکز و جنوب)، فراوانی و درصد رخداد یک دوره خشک به دنبال دوره خشک دیگر یعنی تابع (n⁰⁰) به ترتیب با ۲۱۵۹ روز و ۸۰ درصد احتمال رخداد محتمل‌تر است. در مقابل الگوی تابع احتمال رخداد روز بارانی پس از یک روز بارانی دیگر (n₁₁) با ۱۴۵ روز رخداد و ۲۱ درصد احتمال از درصد رخداد کمی برخوردار است. حاکمیت رخداد این الگو در مناطق شرقی (یاسوج، سی سخت و پاتاوه) مشهودتر است (جدول ۴ و شکل ۲). می‌توان گفت که در مناطق گرمسیری و خشک دوره بازگشت با تداوم‌های کوتاه مدت و در مناطق کوهستانی و سرد شمالی، دوره بازگشت با تداوم‌های بلند مدت حاکمیت بیشتری دارد.

جدول ۳: دوره بازگشت ماهانه تداوم‌های ۱۰ تا ۳۰ روزه ماه‌های سرد و بارانی در پهنه استان (۱۹۸۵-۲۰۱۷)

ماه‌ها - تداوم‌ها	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
تداوم ۱۰ روز	۲۶۳	۱۳۵	۱۱۸	۱۵۵	۱۳۵	۲۲۷	۴۱	۹۷	۷۵
تداوم ۲۰ روزه	۳۰۸	۲۵۹	۱۲۱	۲۰۹	۲۶۳	۱۲۷	۷۶	۱۱۳	۹۹
تداوم ۳۰ روزه و بیشتر	۱۱۶	۱۳۸	۱۴۶	۲۰۲	۱۹۱	۱۲۳	۱۰۹	۵۳	۳۲



شکل ۲: دوره بازگشت ماهانه تداوم‌های مختلف در استان

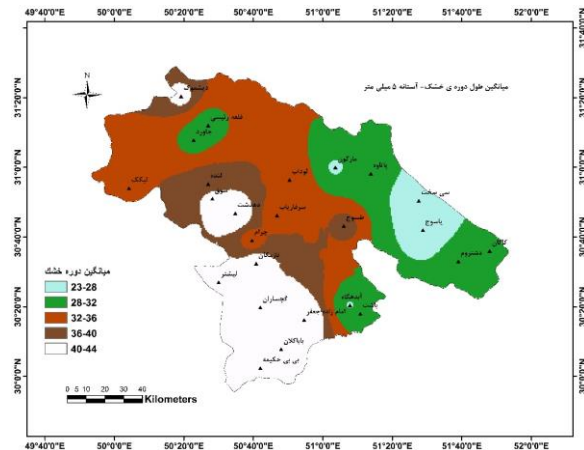
جدول ۴: نتایج ماتریس فراوانی و احتمال حالت‌های انتقال (درصد- خداد)

روزهای قبل		روز جاری (بعد از روزهای قبلی)	
دو روز قبل	یک روز قبل	خشک	بارانی
		۲۱۵۹	۱۵۹
خشک	خشک	۰/۸۲	۰/۳۱
		۳۸۹	۱۷۲
خشک	بارانی	۰/۶۷	۰/۱۴
		۱۲۱۸	۷۸۹
بارانی	خشک	۰/۷۰	۰/۴۹
		۵۰۳	۱۴۵
بارانی	بارانی	۰/۴۹	۰/۲۱

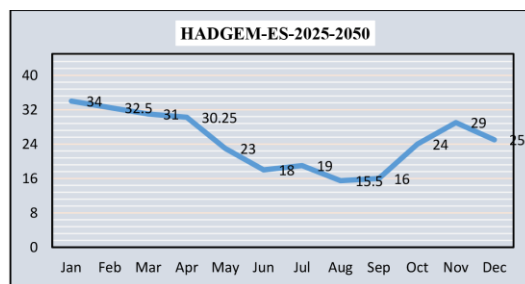
پیش‌نگری و واکاوی وضعیت اقلیم استان در دورنمای آینده

دورنمای تغییر اقلیم ایران در دهه میانی پیش‌تر توسط نگارنده بررسی گردیده که حاکی از تغییرات ملموس بارندگی و به طبع آن دوره‌های خشک در در پهنه‌ی زاگرس دارد (هاشمی عنا، ۱۴۰۰). نگاهی به میانگین درازمدت بارش در استان کهگیلویه و بویراحمد گواه این واقعیت است که در دو دهه اخیر کاهش چشم‌گیری در وضعیت بارندگی استان رخ داده است به‌طوری که میانگین درازمدت به ۴۶۰ میلی‌متر رسیده است. فراوانی رخداد بارش‌های فراگیر و قابل ملاحظه (آستانه ۵ میلی‌متر (دلیل انتخاب آستانه ۵ میلی‌متر، بالا بودن توزیع بارش و فراوانی رخداد در این آستانه بود و بیش از ۶۰ درصد رخداد بارش منطبق با این آستانه بود))، نشان داد که گستره‌ی شرق و شمال‌شرق مانند ایستگاه‌های پاتاوه، دشت‌روم، سی‌سخت، یاسوج و کاکان دوره‌های خشک کوتاهتری (میانگین ۲۳ روز) را نسبت به مناطق جنوبی و غربی مانند گچساران، بابابکان، امامزاده جعفر، لیستر، سوق و دهدشت (میانگین ۴۰ روز)، را دارا هستند (شکل ۳). براساس خروجی سناریوی‌های انتشار ماهانه مدل‌های تغییر اقلیم، طول دوره‌های خشک استان

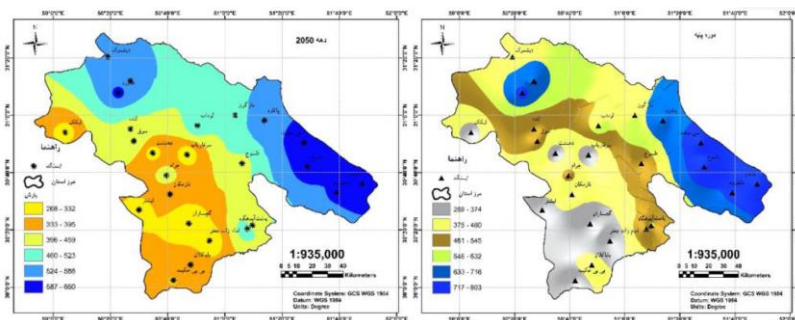
در فصول سرد سال با میانگین (۲۹ درصد) افزایش محسوس‌تری نسبت به دوره‌های گرم سال با میانگین (۱۹ درصد) دارند (شک ۴). نتایج سناریوی انتشار واداشت تابشی (RCP4.5)^۴ مربوط به دهه میانی (۲۰۵۰)، به کمک مدل پهنه‌های مرطوب شرق و شمال‌شرق استان (دشت‌روم، یاسوج، سی‌سخت، کاکان و مارگون)، طول دوره‌های خشک با میانگین ۱۶ درصد افزایش و پهنه‌های جنوب و جنوب‌غرب با میانگین ۱۰ درصد کم‌ترین تغییر را در طول دوره‌های پیش‌بینی می‌شود (شکل ۶). بدان معناست که نواحی مرطوب استان آسیب‌پذیری بیشتری را در مقابل خشکی و نوسانات اقلیمی دارند و از غرب به شرق و از جنوب به شمال بر وسعت پهنه‌های خشک در استان افزوده می‌شود. به عبارتی مرز مناطق خشک به سمت شرق و شمال جابه‌جا می‌شود. با مقایسه وضعیت بارش دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۲۰) و دهه میانی (۲۰۵۰)، مشخص گردید که پهنه‌های مرطوب استان (شرق و شمال‌شرق) به‌طور میانگین ۱۵ تا ۱۸ درصد کاهش بارش نسبت به دوره پایه دارند (شکل ۵).



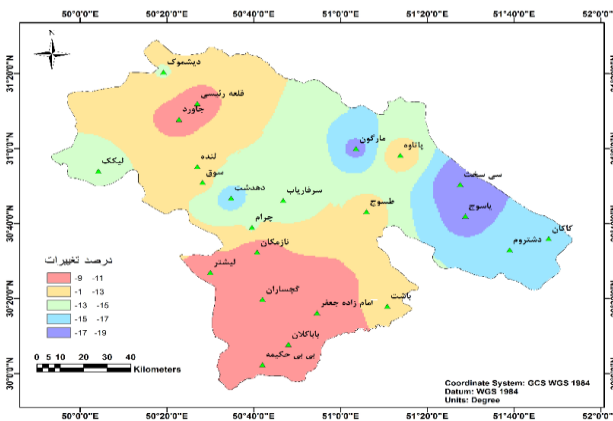
شکل ۳: میانگین طول دوره خشک با آستانه ۵ میلی متر (۱۹۹۰-۲۰۲۰)



شکل ۴: پیش‌بینی سناریوی درصد تغییر ماهانه طول دوره خشک



شکل ۵: مقایسه توزیع فضایی میانگین سالانه بارش دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۲۰) با دهه میانی (۲۰۵۰)



شکل ۶: پیش‌بینی درصد تغییرات طول دوره‌های خشک (HADGEM-ES, ۲۰۲۵-۲۰۵۰)

نتیجه‌گیری

بررسی و شناخت نوسانات بارش برای دستیابی به مکانیسم رفتاری طول دوره‌های خشک در عصر چالش‌های تغییر اقلیم از اهمیت فراوانی برخوردار است. افزایش طول دوره‌های خشک در مناطقی مانند استان کهگیلویه و بویراحمد با توپوگرافی غیرهمسان و برخوردار از تنوع اقلیمی چالش‌هایی اساسی را در بخش‌های مختلف مانند منابع آب و کشاورزی ایجاد نموده است. تنوع اقلیمی و نوسان بارش در استان شرایط را برای تغییرپذیری دوره‌های خشک فراهم می‌کند. به عبارتی مرز مناطق خشک استان در پهنه‌های مرطوب و سردسیری استان گسترش بیشتری دارد. درصد بیشتری از مساحت استان در نیمه شمالی در افق آینده از خشکی متأثر خواهد شد. این امر به نوبه خود لزوم برنامه‌ریزی جهت سازگاری با تغییرات اقلیمی را در این مناطق بیش از پیش ضروری می‌سازد. تغییر طول دوره‌های خشک در پهنه‌های خشک و فراخشک جنوبی و غربی استان به خصوص شهرهایی مانند گچساران، امامزاده جعفر و دهدشت که دارای صنایع آلوده کننده مانند پتروشیمی و صنعت نفت هستند، زنگ خطر و هشدار جدی برای

صنایع غالب منطقه مانند منابع آب، کشاورزی و توریسم است. چالش‌های ناشی از خشک شدن منابع آب مانند تالاب هورالعظیم و افت دبی رودخانه‌ها و سدهای منطقه در همسایگی مناطق جنوبی استان، چالش‌های ناشی از تغییر اقلیم مانند افزایش طول دوره‌های را تشدید می‌نماید. در واقع دوره‌های خشک اقلیمی وابسته به بارش معیار مناسبی برای مشخص نمودن درجه خشکی استان در اقلیم دروه‌های میانه است. با استناد به این معیار لزوم برنامه‌ریزی و سازگاری با تغییرات اقلیمی و مدیریت منابع آب در دسترس در تمامی پهنه‌های استان به خصوص در نیمه شمالی و شرقی که احتمال رخداد دوره‌های خشک بلندمدت بالاست در اولویت است. پیشنهاد می‌گردد با توجه به احتمال رخداد دوره‌های خشک بلند مدت در ناحیه شرقی مانند یاسوج سامان‌دهی و مدیریت آبخیزداری با رعایت اصل سازگاری با تغییر اقلیم در رودخانه بشار که تنها مسیر آبی فعال و پرآب این حوضه است از اهمیت خاصی برخوردار است. امید است خروجی این پژوهش و مطالعات همسو در آینده بتواند مقدمات لازم را برای عملی نمودن رهیافت سازگاری با تغییرات و چالش‌های اقلیمی را در گستره‌ی استان فراهم نماید.

پانویس

1-Homogeneity test

2-L-coefficient of variation

3-Hosking

4-Representative Concentration Pathways

منابع

فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۴(۱۳)، ص ۸۵-۱۰۶.
-مسعودیان، س.ا.، ۱۳۹۰. آب و هوای ایران، چاپ اول، انتشارات شریعه توس، مشهد، ۴۶ ص.
-هاشمی‌عنا، س.ک.، ۱۴۰۰. طبقه‌بندی تغییرات طول دوره‌های خشک وابسته به بارش در ایران،

ذوالفقاری، ح. و میرزایی، م.، ۱۳۹۶. تحلیل فضایی و پهنه‌بندی دوره‌های خشک اقلیمی در ایران براساس شاخص DDSLR، مجله مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۶(۱۲)، ص ۱-۱۸.
-محمودی، پ.، پروین، ن. و رضائی، ج.، ۱۳۹۲. طول دوره‌های خشک و پهنه‌بندی آن در ایران،

خشک با رویکرد تغییر اقلیم در گستره ایران زمین،
مجله مناطق خشک سبزوار، شماره ۶ (۱۴)، ص
۳۳-۱۸.

مجله جغرافیای طبیعی، شماره ۱۴ (۵۳)، ص ۳۹-
۵۵.

-هاشمی عنا، س.ک.، خسروی، م. و طاوسی، ت.،
۱۳۹۵. شبیه‌سازی طولانی‌ترین طول دوره‌های

-Adane, G.B., Hirpa, B.A., Lim, C.H. and Lee, W.K., 2021. Spatial and Temporal Analysis of Dry and Wet Spells in Upper Awash River Basin, Ethiopia. *Water*, v. 12(11), p. 3051.
-Aydrogan, M.K. and Onsoy, H., 2016. Regional flood frequency analysis for Coruh Basin of Turkey with L-moments approach, *Journal of Flood Risk Management*, v. 9(1), p. 69-86.
-Bouagila, B. and Sushama, L., 2013. On the current and future dry spell characteristics over Africa, *Atmosphere*, v. 4(3), p. 272-298.
-Breinl, K. and Van Loon, A.F., 2018. Water shortages worsened by reservoir effects *Nat. Sustain*, v. 1, p. 617-22.
-Breinl, K., Di Baldassarre, G., Mazzoleni, M., Lun, D. and Vico, G., 2020. Extreme dry and wet spells face changes in their duration and timing. *Environmental Research Letters*, v. 15(7), p. 074040.
-Caloiero, T., Coscarelli, R., Ferrari, E. and Sirangelo, B., 2015. Analysis of dry spells in southern Italy (Calabria), *Water*, v. 7(6), p. 3009-3023.
-Carlos, M., Nagesh Kumar, D. and Sorez, F., 2019. Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crops using elitist-mutated particle swarm optimization. *Hydrology Science Journal*, v. 52(4), p. 686-701.
-Cindrić, K., Pasarić, Z. and Gajić-Čapka, M., 2010. Spatial and temporal analysis of dry spells in Croatia. *Theoretical and applied climatology*, v. 102(1-2), p. 171-184.
-Feng, T., Tipton, Z., Xia, L. and Chang, Y., 2020. Evaluation of CORDEX regional climate models in simulating

extreme dry spells in Southwest China. *Frontiers in Earth Science*, 294 p.
-Guzman-Morales, J. and Gershunov, A., 2019. Climate change suppresses Santa Ana winds of Southern California and sharpens their seasonality *Geophys. Res. Lett.*, v. 46, p. 2772-2780.
-Hosking, k. and Wallis, J.R., 1997. *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments*, Cambridge University Press.
-Li, Z., Li, Y., Shi, X. and Li, J., 2011. The characteristics of wet and dry spells for the diverse climate in China. *Global and Planetary Change*, v. 149, p. 14-19.
-Mengistu, M.G., Olivier, C., Botai, J.O., Adeola, A.M. and Daniel, S., 2021. Spatial and temporal analysis of the mid-summer dry spells for the summer rainfall region of South Africa. *Water SA*, v. 47(1), p. 76-87.
-Okoli, K., Mazzoleni, M., Breinl, K. and Di Baldassarre, G., 2019. A systematic comparison of statistical and hydrological methods for design flood estimation *Hydrol. Res.*, v. 50, p. 1665-1678.
-Ratan, R. and V., 2013. Wet and dry spell characteristics of global tropical rainfall *Water Resour. Res.*, v. 49, p. 3830-3841.
-Ruiz-Sinoga, J.D., Garcia-Marin, R., Gabarron-Galeote, M.A. and Martinez-Murillo, J. F., 2016. Analysis of dry periods along a pluviometric gradient in Mediterranean southern Spain. *Int. J. Climatol.*, v. 32, p. 1558-1571.
-Sánchez, E., Domínguez, M., Romera, R., de la Franca, N.L., Gaertner, M.A., Gallardo, C. and Castro, M., 2011. Regional modeling of dry spells over the

- Iberian Peninsula for present climate and climate change conditions, *Climatic change*, v. 107(3-4), p. 625-634.
- Selvaraj, R.S. and Selvis, T., 2010. Stochastic modelling of daily precipitation at ADUTHURAI. *International*, p. 20-29.
- Sirangelo, B., Caloiero, T., Coscarelli, R. and Ferrari, E., 2019. A stochastic approach for the analysis of long dry spells with different threshold values in southern Italy, *Water*, v. 11(10), p. 20-36.
- Thoithi, W., Blamey, R.C. and Reason, C.J., 2021. Dry spells, wet days, and their trends across Southern Africa during the summer rainy season. *Geophysical Research Letters*, v. 48(5), p. 20-34.
- Tichavský, R., Ballesteros-Cánovas, J.A., Šilhán, K., Tolasz, R. and Stoffel, M., 2019. Dry spells and extreme precipitation are the main trigger of landslides in Central Europe. *Scientific reports*, v. 9(1), p. 1-10.
- Wilks, D.S., 2018. The stippling shows statistically significant grid points, how research results are routinely overstated and over interpreted, and what to do about it *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, v. 97, p. 22-36.
- Xia, D., She, J., Song, J., Du, H., Chen, J. and Wan, L., 2013. Spatio-temporal variation and statistical characteristic of extreme dry spell in Yellow River Basin, China. *Theoretical and applied climatology*, v. 112(1-2), p. 201-213.