

جغرافیا و توسعه شماره ۳۴ بهار ۱۳۹۳

وصول مقاله : ۱۳۹۰/۴/۲۷

تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۱۰/۲۷

صفحات : ۹۹-۱۰۸

پایش شاخص منابع آب سطحی با استفاده از نمایه SWSI اصلاح شده و مدل زنجیره‌ی مارکف مطالعه موردی: حوزه‌ی آبخیز اترک

مهدی تیموری^۱، دکتر علی فتح‌زاده^۲

چکیده

خشکی یکی از پدیده‌های پیچیده‌ی طبیعی است که در نتیجه‌ی کمبود بارش حاصل می‌شود و از جمله پدیده‌های چالش‌زای آب و هوایی است که تأثیرات گسترده‌ای در جوامع بشری، محیط زیست و اقتصاد دنیا برجای گذاشته است. در طول سال‌های اخیر نمایه‌های متعددی برای شناسایی و پایش خشکی توسعه داده شده‌اند. هدف از این تحقیق ارزیابی وقایع خشکی در رودخانه‌ی اترک با استفاده از نمایه SWSI اصلاح شده است. همچنین یک مدل زنجیره‌ی مارکف مرتبه یک برای شبیه‌سازی شاخص مزبور بر پایه برآورد احتمال انتقال و توزیع فراوانی جریان رودخانه در ایستگاه‌های مربوطه به کار گرفته شد. نتایج به دست آمده حاکی از این مطلب بود که احتمال گذر از یک حالت معین به همان حالت محتمل‌تر از گذر به سایر شرایط (بین ۶۰ تا ۸۰ درصد) است و هر یک از ایستگاه‌ها مدت زیادی از طول سال را به احتمال زیاد در حالت تعادل قرار دارند. از طرفی علیرغم اینکه بعضی ایستگاه‌ها تداوم زیادی در شرایط خشک دارند ولی به همان نسبت مدت کوتاهی را نیز در شرایط خیلی تر می‌گذرانند که این امر اهمیت برنامه‌ریزی در بخش‌های بهره‌برداری را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

کلیدواژه‌ها: خشکسالی هیدرولوژیکی، مدل زنجیره‌ی مارکف، نمایه SWSI اصلاح شده، رودخانه‌ی اترک.

مقدمه

نظر به اهمیت پدیده‌ی خشکسالی از دیدگاه محققان رشته‌های مختلف علوم، تعاریف ویژه‌ای از این پدیده ارائه شده و روش‌های مطالعاتی خاصی برای آن ابداع گردیده است. اقدامات اولیه در خصوص پایش خشکسالی بیشتر با تحلیل فراوانی منطقه‌ای خشکسالی در مقیاس کوچک آغاز شد (Whipple, 1966: 12). در ابتدا تحلیل‌های خشکسالی به صورت توصیفی انجام و کمتر به تحلیل کمی پرداخته می‌شد (Karl & Rebsame, 1984: 952) اصولاً برای تحلیل کمی وجود یک شاخص مشخص جهت تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (Silva, 2003: 263). امروزه برای بیان کمی پدیده خشکسالی و همچنین ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی بر اساس نوع آن از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌گردد. با توجه به این که کاهش بارندگی عامل اصلی خشکسالی می‌باشد، بیشتر این شاخص‌ها بر این اساس استوار می‌باشند. در این خصوص تحقیقات متعددی انجام گرفته که می‌توان به تحقیق پائولو و همکاران (۲۰۰۳، ۲۰۰۵)، رضیئی و همکاران (۱۳۸۶)، علیزاده و آشگر طوسی (۱۳۸۷) در زمینه‌ی شاخص SPI^۱ اشاره کرد. یوسفی و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیق خود احتمالات خشکسالی و ترسالی منطقه‌ی قزوین را با استفاده از زنجیره مارکف و توزیع نرمال مورد بررسی قرار دادند. بررسی خشکسالی در استان قزوین نیز نشان داد که خشکسالی در این استان اغلب فصلی بوده و از نظم خاصی پیروی می‌کند، به گونه‌ای که در فصول آینده به احتمال ۶۰-۷۰ درصد ترسالی خواهد بود (رضایی و پناهی، ۱۳۸۸: ۸). این درحالی است که در مطالعه‌ی دیگر در استان سمنان و با استفاده از مدل زنجیره مارکف احتمال ترسالی حدود ۳۷ درصد به دست آمد (رحیمیان و قانع، ۱۳۸۸: ۷). احتمال خشکسالی در رودخانه‌ی هیرمند نیز با استفاده از مدل زنجیره‌ی

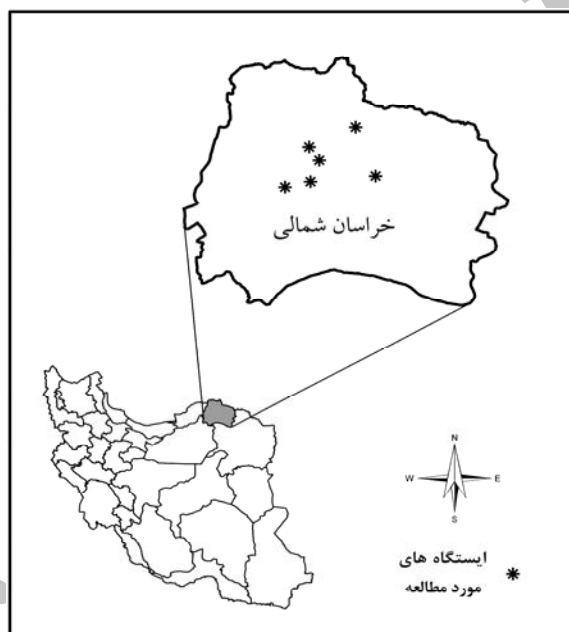
مارکف حدود ۳۸ درصد برآورد گردید (حقیقت‌جو و شامحمدی حیدری، ۱۳۸۰: ۴). نتایج بررسی خشکسالی در حوزه‌ی آبخیز اترک و به کمک شاخص SPI نشان داد که بیشترین گسترش خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه رخ داده است (مفیدی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹: ۶). دوپگنی (۲۰۰۱) نیز برای بررسی تأثیرات خشکسالی از بین نمایه‌های مختلف اقلیمی (نمایه رطوبت محصول، نمایه بارش استاندارد و نمایه پالمر اصلاح شده) نمایه SPI را برای مطالعه در مقیاس‌های زمانی کوچک تا متوسط به عنوان بهترین روش برای اندازه‌گیری خشکسالی معرفی کرد. البته از آنجایی که کمبود آب در یک ناحیه می‌تواند علی‌رغم بارندگی کافی به واسطه‌ی تبخیر زیاد و یا سایر افت‌ها و حتی مصرف بیش از حد رخ دهد (مرید و پایمزد، ۱۳۸۶: ۳۳۲)، استفاده از معرف‌های دیگری مانند جریان آب‌های سطحی، زیرزمینی و مصرف در محاسبات ضروری به نظر می‌رسد (Cavalcanti & Steinemann, 2006: 171). از متداول‌ترین این نمایه‌ها می‌توان به نمایه تأمین آب‌های سطحی (SWSI^۲) اشاره کرد (Shafer & Dezman, 1982: 164). استفاده از این شاخص برای نخستین بار در سال ۱۹۸۲ جهت تکمیل پایش خشکسالی در ایالت کلرادوی آمریکا که ذخیره برف منبع عمده تأمین آب در منطقه است، پیشنهاد گردید (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴: ۳۷۹). با توجه به این مطلب که خشکسالی هیدرولوژیکی حاصل کمبود بارش مؤثر در دوره‌های قبلی است در این تحقیق نیز با تکیه بر یک شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی (و نه صرفاً هواشناسی) و با استفاده از یک مدل ریاضی مختص پدیده‌های تصادفی موسوم به زنجیره‌ی مارکف که جهت بررسی احتمال وقوع وضعیت‌های مختلف آب و هوایی به کار می‌رود اقدام به پایش این شاخص در چند ایستگاه هیدرومتری در رودخانه اترک گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد بررسی

در این مطالعه داده‌های جریان ماهانه ۶ ایستگاه هیدرومتری واقع در حوضه‌ی اترک در شمال شرقی کشور انتخاب گردیده است (شکل ۱). مشخصات ایستگاه‌های مذکور شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، کد و نام ایستگاه به همراه مساحت آن‌ها در جدول (۱) آمده است. لازم به ذکر است از بین تمام

ایستگاه‌های موجود در رودخانه‌ی اترک و سرشاخه‌های آن ایستگاه‌های مزبور به علت دارا بودن دوره‌ی آماری طولانی‌تر انتخاب گردیدند تا نتایج تحقیق با اطمینان بیشتری ارائه شود. دوره‌ی آماری ماهانه سال‌های ۸۶-۱۳۵۶ مبنای تجزیه و تحلیل آماری این تحقیق می‌باشد. همچنین داده‌های مزبور از نظر همگنی و استقلال داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و داده‌های مفقوده‌نیز با استفاده از روش همبستگی بازسازی گردید.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

کد ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)
۱۱-۰۲۱	بابامان	۵۳۶۵۰۸	۴۱۴۷۷۲۹	۹۸۱	۱۲۳۳
۱۱-۰۲۷	قتلیش	۵۲۵۰۳۱	۴۱۸۴۶۷۴	۹۵۲	۱۳۵۵
۱۱-۰۳۱	درکش	۴۷۳۶۹۴	۴۱۴۳۵۵۲	۱۰۲۸	۱۱۵
۱۱-۰۳۳	شیرآباد	۴۹۱۳۸۴	۴۱۴۶۳۸۶	۹۵۵	۱۸۱
۱۱-۰۳۵	دربند	۴۹۸۴۵۸	۴۱۶۱۸۷۵	۶۷۱	۱۰۳۲۳
۱۱-۰۳۸	آغمزار	۴۹۲۱۱۵	۴۱۷۲۵۰۰	۵۶۳	۱۲۰۰۴

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

نمایه SWSI

از متداولترین شاخصهای خشکسالی هیدرولوژیکی که مجموعه‌ای از شاخصهای منفرد مؤثر را در محاسبات خود به کار می‌گیرد می‌توان به نمایه تأمین آبهای سطحی اشاره کرد. نمایه مذکور بر اساس چهار پارامتر بیلان برفی، جریان رودخانه‌ای، بارش و حجم مخازن سطحی آب ابداع گردید که بر اساس الگوریتم ارائه شده با توجه به فصلی بودن این شاخص در هر زمان تنها از سه پارامتر در معادلات استفاده می‌گردد. مقدار این شاخص به صورت ماهانه و با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه است.

$$SWSI = (a * P_{snow} + b * P_{prec} + c * P_{stream} + d * P_{reservoir} - 50) / 12 \quad (1)$$

که در رابطه فوق d, c, b, a وزن هر یک از اجزاء در نظر گرفته شده و مجموع آنها برابر یک است. P_i نیز احتمال عدم تجاوز برای متغیر i (برف، باران، رواناب و مخزن) می‌باشد. در این معادله تفاضل عدد ۵۰ برای متقارن بودن مقادیر شاخص حول صفر و عدد ۱۲ جهت قرار گرفتن مقادیر مزبور بین محدوده $-۴/۱۷$ و $+۴/۱۷$ است که از نظر عددی با شاخص PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) همخوانی داشته باشد. بدین ترتیب وضعیت هیدرولوژیکی متناظر با مقادیر عددی این شاخص در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲: وضعیت خشکسالی متناظر با مقادیر شاخص SWSI

محدوده مقادیر شاخص	وضعیت هیدرولوژیکی
۳ تا ۴	خیلی تر
۲ تا ۳	نسبتاً تر
۱ تا ۲	تری کم
۱ تا -۱	تقریباً نرمال
-۱ تا -۲	خشکی کم
-۲ تا -۳	نسبتاً خشک
-۳ تا -۴	خیلی خشک

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر از روش اصلاحی SWSI استفاده شده است.

مدل زنجیره‌ی مارکف

داده‌های جریان رودخانه از جمله فرایندهای تصادفی هستند که عملکرد آنها نسبت به زمان متغیر بوده و تابع قوانین احتمالات می‌باشند. مدل‌های زنجیره‌ی مارکف نیز یکی از تکنیک‌های مدل‌سازی سری‌های زمانی گسسته تصادفی می‌باشند که وابستگی داده‌های تصادفی به زمان از طریق ضریب خودهمبستگی و یا ماتریس‌های احتمال انتقال بیان می‌شود. زنجیره‌ی

از آنجایی که تعیین وزن هر کدام از اجزاء رابطه به راحتی میسر نبوده و تعیین میزان آب حاصل از ذوب برف با عدم قطعیت زیادی همراه است گارن (۱۹۹۳) از اثر غیرمستقیم مقدار برف در جریان رودخانه استفاده کرده و رابطه‌ی (۲) موسوم به روش اصلاحی SWSI را ارائه نمود.

$$SWSI_{mod} = \frac{P - 50}{12} \quad (2)$$

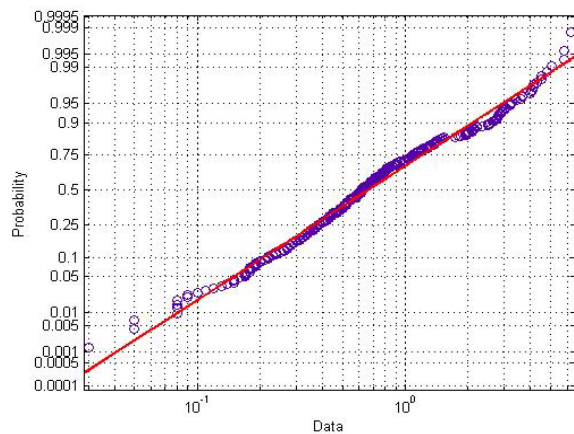
که در آن P برابر با احتمال محاسبه شده از روی تابع توزیع احتمالی برازش شده به سری مجموع جریان بر حسب درصد می‌باشد (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴: ۳۸۱).

نتایج

پس از برازش تابع توزیع احتمال مناسب به سری زمانی جریان ماهانه تابع توزیع لوگ نرمال برای تمامی ایستگاه‌ها مناسب تشخیص داده شد که با توجه به آن احتمال تجمعی وقوع جریان در تمامی ایستگاه‌ها محاسبه گردید (رابطه ۵).

$$f(y) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left[-(y - \mu_y)^2 / 2\sigma_y^2\right] \quad (5)$$

که در آن $y = \ln x$ با میانگین μ_y و انحراف از معیار σ_y برای مقادیر y می‌باشد. شکل (۲) نمونه‌ای از برازش تابع توزیع لوگ نرمال را به سری جریان ماهانه ایستگاه قتلش نشان می‌دهد.



شکل ۲: برازش تابع توزیع لوگ نرمال به سری جریان ایستگاه قتلش
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

سپس با توجه به سری احتمال تجمعی مذکور شاخص SWSI اصلاح شده برای تمامی ماه‌ها محاسبه و شدت خشکسالی نظیر برآورد گردید که شکل (۳) بیانگر میزان فراوانی شرایط مورد نظر بر مبنای شاخص مزبور در ایستگاه‌های مورد استفاده می‌باشد.

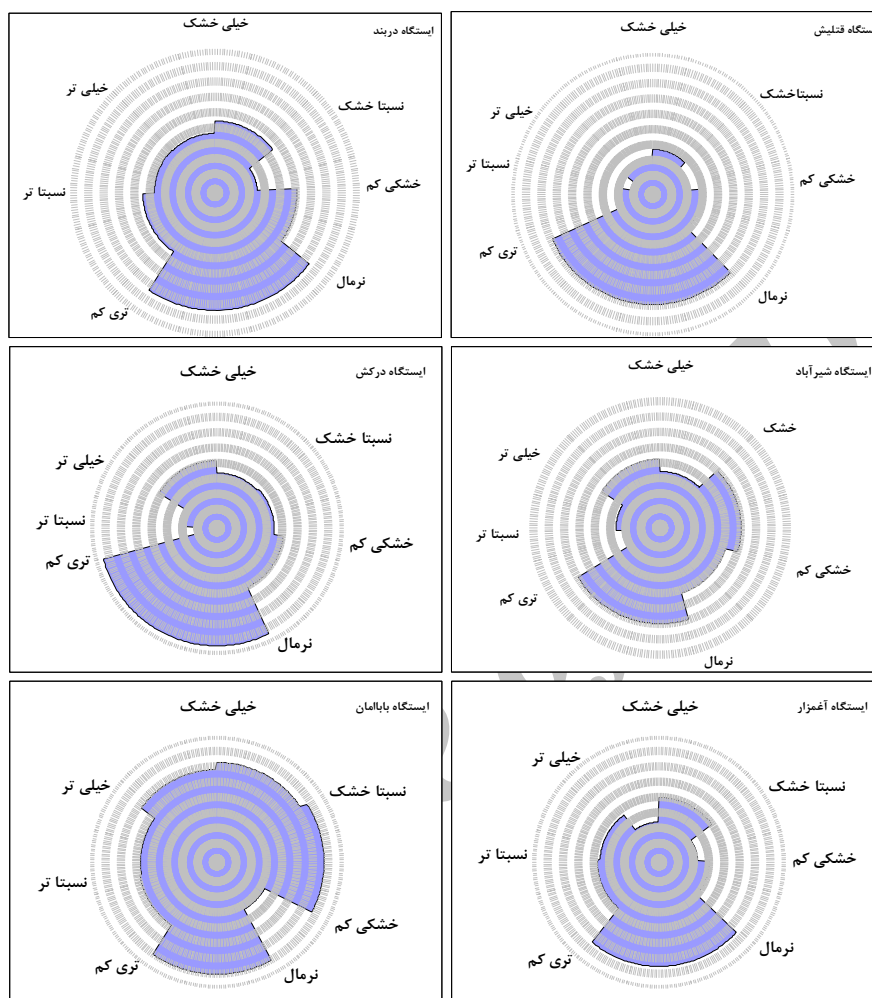
مارکف مرتبه‌ی اول که متداول‌ترین نوع این زنجیره محسوب شده و در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفته یک سری زمانی گسسته است که رفتار سری در گام زمانی آینده را تنها به حال وابسته می‌داند و به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود (Wilks, 1995: 135).

$$P\{X_{t+1}|X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_1\} = P\{X_{t+1}|X_t\} \quad (3)$$
 که در آن P احتمال وقوع حالت X_{t+1} به شرط وقوع حالت X_t, X_{t-1}, \dots, X_1 متغیر حالت و t گام زمان می‌باشد. بدین ترتیب وضعیت و حالت محیط در گام بعدی با درصدی از احتمال که احتمال انتقال نامیده می‌شود (رابطه ۴) یکی از هفت حالت موجود در طبقه‌بندی جدول ۲ می‌باشد و بر این اساس درجه همبستگی میان حالت‌های مختلف را می‌توان به کمک احتمال انتقال حالت نشان داد که مجموعه این احتمالات به صورت ماتریسی به نام ماتریس احتمال انتقال نشان داده می‌شود.

$$\hat{P}_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_{k=1}^N n_{ik}} \quad (4)$$

که در آن \hat{P}_{ij} احتمال انتقال از حالت i به حالت j ، n تعداد دفعات گذر از حالت i به حالت j و N تعداد حالت‌های ممکن می‌باشد (Thompson, 1990: 39).

در صورتی که ماتریس احتمال انتقال بی نهایت بار در خود ضرب شود، احتمال انتقال از حالت‌های مختلف به عدد ثابتی میل داده می‌شود که ماتریس احتمال تعادل نامیده شده و به کمک آن وضعیت زنجیره در درازمدت قابل پیش‌بینی خواهد بود. برای پیش‌بینی میانگین تداوم حالت‌ها نیز کافی است که احتمال تعادل آن‌ها را به احتمال رویداد دوره‌های مختلف (احتمال گذر از حالت‌های گوناگون به حالت مورد نظر) تقسیم نماییم.



شکل ۳: فراوانی شرایط موجود در شاخص *SWSI* اصلاح شده در ایستگاه‌های مورد نظر

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

در شرایط متضاد بسیار پایین است، به نحوی که احتمال انتقال حالت تر به تر و بالعکس به حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد و همین احتمال برای حالت تر به خشک و بالعکس به زیر ۴ درصد و برای گذر حالت نرمال به خشک و یا تر به کمتر از ۱۵ درصد می‌رسد. این مسأله در جداول ۴ و ۵ نیز مشهود می‌باشد.

بر مبنای هفت حالت موجود در جدول ۲ ماتریس احتمال انتقال برای سری‌های زمانی *SWSI* اصلاح شده محاسبه گردید که به علت حجم بالای داده‌ها در تمام ایستگاه‌ها ماتریس احتمال انتقال ایستگاه قتلش به عنوان نمونه در جدول (۳) آورده شده است.

نتیجه

همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود احتمال گذر از حالتی به همان حالت بسیار بالا و این احتمال

جدول ۳: ماتریس احتمال انتقال شاخص SWSI اصلاح شده

	خیلی خشک	نسبتاً خشک	خشکی کم	نرمال	تری کم	نسبتاً تر	خیلی تر
خیلی خشک	۰/۴۸	۰/۲۲	۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
نسبتاً خشک	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰
خشکی کم	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰
نرمال	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۵۵	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۸
تری کم	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۳۱	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲۶
نسبتاً تر	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۲
خیلی تر	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۵۲

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

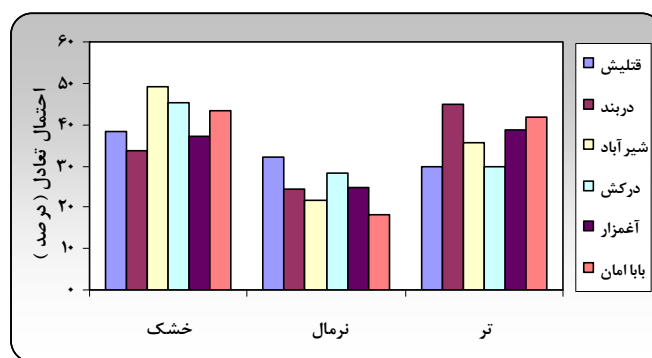
خشک بعد از نرمال غلبه دارد و دو ایستگاه آغمزار و بابامان شرایط یکسانی را از نظر احتمال تعادل خشکی و تری تجربه می‌کنند. همچنین در شکل (۴) نیز درصد احتمال تعادل به صورت گرافیکی آمده است. البته بایستی متذکر شد که هر یک از سه زیر حالت خشکی و تری به صورت مجموع در شکل آورده شده‌اند که کاهش شرایط نرمال نسبت به جدول (۴) به همین دلیل می‌باشد.

به گونه‌ای که مقادیر احتمال تعادل که در جدول (۴) آمده است بیانگر ایستایی حالت خاصی از شرایط هیدرولوژیکی در هر یک از ایستگاه‌ها است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هر یک از ایستگاه‌ها مدت زیادی از طول سال را به احتمال زیاد در حالت تعادل قرار دارند، همچنین این جدول نشان می‌دهد که به طور میانگین احتمال تعادل در شرایط تر بعد از نرمال در ایستگاه دربند بیشتر از شرایط خشک و در ایستگاه‌های قتلش و شیرآباد و درکش احتمال تعادل شرایط

جدول ۴: احتمال تعادل حالت‌های مختلف در ایستگاه‌های مورد نظر

	قتلش	دربند	شیرآباد	درکش	آغمزار	بابامان
خیلی خشک	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۷
نسبتاً خشک	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۱۷
خشکی کم	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۰۹
نرمال	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۱۸
تری کم	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۱۳
نسبتاً تر	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۱۳
خیلی تر	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۱۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۴: احتمال تعادل هر یک از حالات در ایستگاه‌های مورد نظر

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

حالات مذکور نیز جهت برنامه‌ریزی‌های مزبور ضروری به نظر می‌رسد که در ادامه در جدول (۵) آورده شده است.

با بررسی این شکل می‌توان به احتمال پایداری یکی از حالات در ایستگاه‌های مورد نظر پی برد که این امر در برنامه‌ریزی‌های منابع آب و کشاورزی دارای اهمیت فراوانی است. در این راستا برآورد میانگین تداوم

جدول ۵: میانگین تداوم حالات مختلف در ایستگاه‌های مورد نظر

	قتلیش	دربند	شیرآباد	درکش	آغمزار	بابامان
خیلی خشک	۱/۹	۲/۶	۲/۸	۲/۵	۱/۸	۲/۶
نسبتاً خشک	۱/۳	۱/۳	۱/۷	۱/۴	۱/۲	۱/۵
خشکی کم	۱/۴	۱/۳	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱/۵
نرمال	۲/۲	۱/۹	۱/۵	۱/۹	۱/۸	۱/۴
تری کم	۱/۲	۱/۷	۱/۲	۱/۱	۱/۴	۱/۴
نسبتاً تر	۱/۲	۱/۵	۱/۰	۱/۱	۱/۶	۱/۷
خیلی تر	۲/۱	۱/۸	۲/۳	۲/۱	۱/۵	۱/۸

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

نسبت مدت کوتاهی را نیز در شرایط خیلی تر می‌گذرانند که با مدیریت بهره‌برداری آب در این مدت می‌توان بر خشکسالی‌های دوره‌ای غلبه کرد. این مسأله در تأیید تحقیقات مرید و پایمزد (۱۳۸۶) مبنی بر اهمیت دخالت معرف‌های هیدرولوژیکی در مطالعات خشکسالی می‌باشد. از سوی علیزاده و آشگر (۱۳۸۶) نیز در تحقیق خود که در استان خراسان رضوی انجام گردید به این نتیجه رسیدند که تقریباً در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی وضعیت ترسالی ملایم بیشترین درصد وقوع را داشته و بعد از آن خشکسالی‌های ملایم در رده بعدی قرار دارند.

بر اساس جدول فوق تداوم دوره‌های خشک در ایستگاه شیرآباد بیشتر از سایر ایستگاه‌ها به نظر می‌رسد که همان‌طور که در جدول (۴) نیز ملاحظه گردید احتمال ایستایی در این حالت نیز نسبت به سایر ایستگاه‌ها بالاتر می‌باشد. شرایط نرمال نیز در ایستگاه قتلیش دارای تداومی زیاد و در حدود ۲/۲ ماه و با ایستایی بالایی مشهود است. ایستگاه دربند نیز با میانگین ۱/۷ و ۱/۵ و ۱/۸ ماه برای شرایط تری کم، نسبتاً تر و خیلی تر شرایط خوبی را از نظر تداوم و احتمال تعادل (۴۵ درصد) داراست. نکته‌ی قابل توجه این است که علی‌رغم اینکه ایستگاه شیرآباد تداوم زیادی را در شرایط خشک تجربه می‌کند ولی به همان

منابع

- یوسفی، نصرت...؛ سهراب حجام؛ پرویز ایران‌نژاد؛ سیما کتیرای‌بروجردی (۱۳۸۴). کاربرد زنجیره مارکف در بررسی احتمالات خشک و ترسالی و مقایسه آن با توزیع نرمال (مطالعه موردی: ایستگاه قزوین)، دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک. سازمان زمین‌شناسی کشور. تهران.
- یوسفی، نصرت...؛ سهراب حجام؛ پرویز ایران‌نژاد (۱۳۸۶). برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از زنجیره‌ی مارکف و توزیع احتمال - مطالعه موردی: قزوین، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۰.
- Doupigny Girux, L. A (2001). Towards characterizing and planning for drought in Vermont_ part 1: A climatological perspective. J. of the American Water Resources Association. 37(3).
- Garen, D (1993). Revised surface Water Supply Index for western united states. J. of Water Resources Planning and Management. ASCE. 119(4).
- Karl, T. R., and W. E. Rebsame (1984). The identification of 10 to 20 year temperature and precipitation fluctuations in the contiguous U. S. J. of Climate and Applied meteorology. 23.
- Paulo, A. A., C. Coelho, and Pereira. L.S (2003). Drought class transition analysis through Markov and log linear models. Proceedings of the 6th Inter-regional Conference on Environment-Water, Land and Water Use Planning and Management, Albacete, Spain.
- Paulo, A. A., E. Ferreira, and Pereira. L. S (2005). Stochastic prediction of SPI drought classtransitions. ICID 21st European regional conference. 15-19 May 2005. Frankfurt (Oder). Germany.
- Shafer, B. A. and. Dezman. L. E (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSD) to assess the severity of drought conditions in snow pack runoff areas. IN Proceedings of the (50th) Annual Western Snow Conference. Fort Collins, CO: Colorado State University.
- Silva. V. P. R (2003). On climate variability in northeast brazil, Journal of arid Environment. 54(2).
- Steinemann, A.C., and Luiz F.N. Cavalcanti (2006). Developing Multiple Indicators and Triggers for droughts plans. J. of Water Resources Planning and Management. 3.
- Thompson, S. A (1990). A Markov and runs analysis of drought in the central united states. Physical Geography. 11 (3).
- Whipple, w (1966). Regional drought analysis, ASCE. J. of Irrigation and drainage division. 92.
- Wilks, D. S (1995). Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic Press. San Diego, California. USA.
- حقیقت‌جو، پرویز؛ زمان شامحمدی‌حیدری (۱۳۸۰). کاربرد زنجیره مارکف در بررسی احتمالات خشکسالی و ترسالی منطقه سیستان با توجه به بده رودخانه هیرمند، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب. زابل. دانشگاه زابل.
- رحیمیان، مهدی؛ ابوطالب قانع (۱۳۸۸). پایش و پیش‌بینی خشکسالی شهرستان سمنان با استفاده از روش آماری شاخص SPI و زنجیره‌ی مارکف، مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب. شاهرود. دانشگاه صنعتی شاهرود.
- رضایی، پرویز؛ عبدالحافظ پناهی (۱۳۸۸). پیش‌بینی و محاسبه احتمال وقوع خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکف در استان گلستان، مجموعه مقالات همایش منطقه‌ای بحران آب و خشکسالی. رشت. دانشگاه آزاد اسلامی.
- رضیئی، طیب؛ یمان دانش‌کارآراسته؛ روح‌انگیز اختری؛ بهرام ثقفیان (۱۳۸۶). بررسی خشکسالی هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره‌ی مارکف، تحقیقات منابع آب ایران. سال ۳. شماره ۱.
- علیزاده، امین؛ شادی آشگرطوسی (۱۳۸۷). توسعه یک مدل برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی (مطالعه موردی استان خراسان رضوی)، علوم و صنایع کشاورزی. ویژه آب و خاک. جلد ۲۲. شماره ۱.
- کارآموز، محمد؛ شهاب عراقی‌نژاد (۱۳۸۴). هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- مرید، سعید؛ شهلا پایمزد (۱۳۸۶). مقایسه روش‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی جهت پایش روزانه خشکسالی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال ۱۱. شماره ۴۲ (ب).
- مفیدی‌پور، نازنین؛ مجید اونق؛ واحدردی شیخ (۱۳۸۹). ارزیابی خشکسالی حوزه‌ی آبخیز اترک به منظور مدیریت بهینه منابع آب، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. نور. دانشگاه تربیت مدرس.