

## یادداشت فنی

### پیش‌بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی با استفاده از تئوری RUN و زنجیره مارکوف مطالعه موردی: استان لرستان

محمد بشیرزاده<sup>۱\*</sup> و شهاب عراقی‌نژاد<sup>۲</sup>

#### چکیده

در این مورد مطالعاتی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی در استان لرستان با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه تحلیل شد. ابتدا با انجام نرمال‌سازی داده‌ها اقدام به ساخت سری زمانی نمره Z بارندگی شد و سپس با استفاده از تئوری ران و تعیین سطح آستانه، جداسازی ماه‌ها و دوره‌های خشک صورت گرفت. منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی ترسیم شد. در ادامه با استفاده از زنجیره مارکوف ماتریس احتمال انتقال و ماتریس احتمال ایستای منطقه استخراج و وضعیت منطقه در پانزده سال آتی از نظر تعداد سال‌های خشک و تداوم این سال‌ها پیش‌بینی شد.

**واژه‌های کلیدی:** تئوری ران، زنجیره مارکوف، لرستان و پیش‌بینی احتمالاتی.

**ارجاع:** بشیرزاده م. و عراقی‌نژاد ش. ۱۳۸۹. پیش‌بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی با استفاده از تئوری RUN و زنجیره مارکوف مطالعه موردی: استان لرستان. مجله پژوهش آب ایران. ۴(۶): ۹۱-۹۴.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. کرج.

۲- استادیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. کرج.

\*نویسنده مسئول: [mohammadbashirzadeh@yahoo.com](mailto:mohammadbashirzadeh@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۴/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۵/۶

#### مقدمه

در یک مفهوم جامع خشکسالی به کمبود شدید در منابع آب نسبت به شرایط نرمال متناظر با زمان و مکان گفته می‌شود (ترابی، ۱۳۸۱). مطالعه خشکسالی شامل نخست بررسی سوابق و جمع‌آوری آمار و اطلاعات، دوم تعریف دقیق مسئله و پیش‌بینی خشکسالی و تلفیق نتایج برای ایجاد ارتباط بین خشکسالی‌های مختلف همراه با درجه‌بندی این پدیده و سوم هشدار برای جلوگیری از زیان‌های فراوان به جوامع و بخش‌ها است. (رضیعی و همکاران، ۱۳۸۲). دالزیوس (۱۹۹۳) استخراج منحنی‌های شدت-تداوم و فراوانی به‌همراه نقشه‌های هم‌شدت خشکسالی را از نیازهای اساسی برنامه‌ریزی محیطی و به‌خصوص کشاورزی بیان می‌کند. تئوری ران به‌عنوان یکی از روش‌های مطالعه مناسب خشکسالی و استخراج منحنی‌های شدت-مدت و فراوانی محسوب می‌شود که بیشتر برای متغیرهای گسسته استوار است (یوجویچ، ۱۹۶۷).

#### مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه استان لرستان در غرب ایران و در طول جغرافیایی ۴۷ تا ۵۰ درجه و عرض جغرافیایی ۳۲/۵ تا ۳۴/۵ است.

پس از صحت‌سنجی داده‌ها و تکمیل سری زمانی ماهانه، شاخص نمره Z به‌عنوان شاخص هواشناسی از طریق فرمول ذیل استخراج شد.

$$Z = \frac{(x - \mu)}{\delta} \quad (1)$$

که در آن: Z شاخص نمره استاندارد، x مقدار بارش ماهیانه،  $\mu$  میانگین جامعه  $\delta$  انحراف معیار جامعه آماری است. کل داده‌های بارندگی را به‌عنوان یک جامعه آماری در نظر گرفته و سپس براساس میانگین و انحراف معیار این جامعه آماری شاخص نمره Z محاسبه شد. تئوری ران براساس فرآیندهای هیدرولوژیکی که آنها را ایستا می‌نامند و دوم سری‌های زمانی استوکاستیک برای هر متغیر هیدرولوژیکی شکل گرفته است. این تئوری کمک خواهد کرد تا در یک سری زمانی، وقایع خشک را از سایر وقایع هیدرولوژیکی براساس یک سطح برش مشخص جدا کنیم. سطح برش براساس نوع فعالیت، توسط مدیران در طراحی سیستم مدیریت منابع آب تعیین می‌شود (شرما، ۱۹۸۸). با استفاده از تئوری ران خشکسالی با تداوم یک تا نه ماه در جدول‌هایی همانند جدول ۱ استخراج و منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی برای ایستگاه‌های آفرینه، کشور، قلعه‌هما، سیدعلی، بروجرد، کوه‌دشت و دره‌تخت ترسیم شد.

جدول ۱- شدت خشکسالی با تداوم‌های مختلف در ایستگاه آفرینه

		تداوم (ماه)								
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	-/۸۴	-/۶۴	-	-۱/۱۸	-۴/۱۸	-۴/۹۹	-۵/۷۷	-۵/۹۴	-۳/۳۸	
۲	-/۷۸	-۱/۰۳	-	-۱/۱۶	-۴/۱۸	-۴/۹۶	-۵/۴۳	-۵/۴۷	-۵/۵	
۳	-/۷۴	-/۶	-	-/۹۳	-۴/۱۴	-۴/۸۸	-۵/۳۳	-۵/۴۲	-۵/۴۹	
۴	-/۶۱	-/۴۵	-	-۱/۲۳	-۴/۱۲	-۴/۸۴	-۵/۳۳	-۵/۳۲	-۹/۱	
۵	-/۵۱	-/۲۵	-	-	-۴/۰۲	-۴/۷۸	-۵/۱۹	-۴/۹۲	-۵/۲۳	
۶	-/۴۵	-	-	-	-۴	-۴/۶۹	-۵/۰۹	-۵/۱۰	-۵/۰۱	
۷	-/۳۹	-	-	-	-۳/۸۶	-۴/۶۳	-۵/۰۷	-۴/۶۱		
۸	-/۳۳	-	-	-	-۳/۷	-۴/۳۹	-۴/۹۳			
۹	-/۳۳	-	-	-	-۳/۴۶	-۴/۳۹	-۴/۴۲			
۱۰	-/۳۱	-	-	-	-۳/۴۵	-۴/۳۳	-۴/۲۸			

## نتایج و بحث

برای طولانی مدت است. جدول ۲ ماتریس ایستای منطقه را نشان می‌دهد. هرکدام از دریاچه‌های ماتریس ایستا نشان دهنده درصد دوره‌هایی است که منطقه در دراز مدت در آن حالت باقی می‌ماند.

جدول ۲ - ماتریس احتمال ایستای ایستگاه‌های منطقه مورد

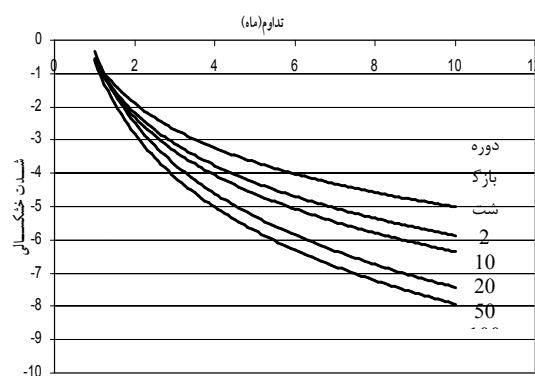
نام ایستگاه	مطالعه		
	مرطوب	خشک	نرمال
آفرینه	٪۵۰۹	٪۳۱۱	٪۱۸
دره تخت	٪۵۸۳	٪۱۷۳	٪۲۴۴
سید علی	٪۴۸۶	٪۲۲۴	٪۲۹۱
بروجرد	٪۴۰۴	٪۲۷۳	٪۳۲۴
کوهدهشت	٪۴۴۴	٪۳۶۴	٪۱۹۲
کشور	٪۵۸۴	٪۰۶۸	٪۳۴۸
قلعه هما	٪۶۶۶	٪۲۰۸	٪۱۲۶

با استخراج احتمالات مربوط به خشکی از روی قطر اصلی ماتریس احتمال انتقال هر ایستگاه و ترسیم آنها در مقابل عرض جغرافیایی مربوط به ایستگاه مذکور شکل ۲ به دست آمد که بیانگر وضعیت هر ایستگاه از نظر احتمال خشکی است. با توجه به این نتایج می‌توان گفت که بهترین وضعیت در ایستگاه بروجرد و بدترین وضعیت در ایستگاه قلعه‌هما رخ داده است. مقادیر مربوط به احتمال خشک بودن از ماتریس احتمال ایستای منطقه نیز خارج و در مقابل موقعیت هر ایستگاه ترسیم و احتمال درازمدت خشکسالی در منطقه استخراج شد. شکل ۳ بیانگر احتمال درازمدت خشکسالی در منطقه است.



شکل ۲- احتمال دوام خشکسالی (سمت راست)

پس از تعیین تداوم‌های مختلف خشکسالی مقادیر شدت در هرکدام از ماه‌ها به ترتیب نزولی مرتب و سپس با استفاده از فرمول توزیع تجربی احتمال تجاوز در هر کدام از تداوم‌ها با دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد. منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی با دوره بازگشت‌های مختلف از طریق فرمول تجربی ویبول برای ایستگاه‌های مورد مطالعه ترسیم شد. شکل ۱ منحنی شدت، تداوم و فراوانی در ایستگاه آفرینه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- منحنی شدت، تداوم و فراوانی در ایستگاه آفرینه

تعداد سال‌های خشک در یک دوره شبیه‌سازی با حاصل ضرب طول دوره شبیه‌سازی در احتمال رخ داد خشکسالی و مدت دوام خشکسالی نیز از تقسیم احتمال ایستای خشکسالی هر ایستگاه بر احتمال خشکسالی همان ایستگاه به دست آورده شد.

$$E(D) = P_D * t \quad (2)$$

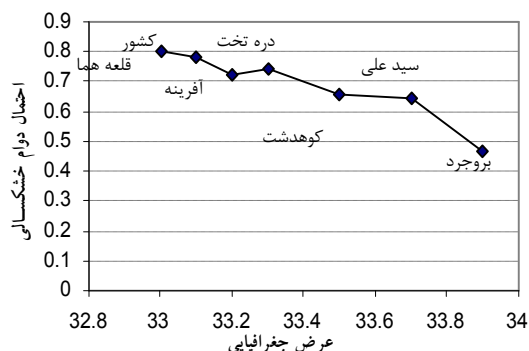
$$P_D = P_N^{ista} * P_{N,D} + P_W^{ista} * P_{W,D} \quad (3)$$

$$D(duration) = P_D^{ista} / P_D \quad (4)$$

که در آن:  $E(D)$  امید ریاضی خشکسالی یا تعداد متوسط سال‌های خشک،  $t$  طول دوره شبیه‌سازی،  $P_D$  احتمال رخداد خشکسالی (رفتن از حالت‌های غیر خشک به خشکی)،  $P_N^{ista}$  احتمال ماندن منطقه در حالت نرمال برای طولانی مدت،  $P_W^{ista}$  احتمال ماندن منطقه در حالت پر آب (تر) برای طولانی مدت،  $P_{N,D}$  احتمال انتقال از حالت نرمال به خشک در ماتریس انتقال،  $P_{W,D}$  احتمال انتقال از حالت تر به خشک در ماتریس انتقال،  $D(duration)$  مدت دوام خشکسالی و  $P_D^{ista}$  احتمال ماندن منطقه در شرایط خشک

تعداد دوره‌های خشک و مدت دوام هر دوره با استفاده از مجموعه روابط ۲ برای یک دوره ۱۸۰ ماهه پیش‌بینی شد که نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

می‌توان پتانسیل آبی در مناطق مختلف استان را شناسایی، ارزیابی و براساس این آگاهی‌ها اقدام به برنامه‌ریزی در زیر بخشهای مختلف کرد. این روش امکان این را فراهم می‌آورد تا برای ایستگاه‌های منطقه و مناطق مختلف در صورت قرار داشتن در هر کدام از شرایط محیطی احتمال گذر یا عدم گذر به شرایط دیگر بیان شود.



شکل ۳- احتمال درازمدت خشکسالی (سمت چپ)

جدول ۳- برآورد تعداد و تداوم دوره‌های خشک در منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	آفرینه	دره تخت	سید علی	بروجرد	کوه‌دشت	کشور	قلعه هما
تعداد دوره خشک	۴۲/۰۳	۴۶/۷۱	۴۶/۱۲	۱۰/۶۶	۲۶/۶۲	۲۲/۸۶	۳۶/۲۵
تداوم	۱/۳۳	%۶۷	%۸۷	۴/۶	۲/۴۶	%۵۴	۱/۰۳

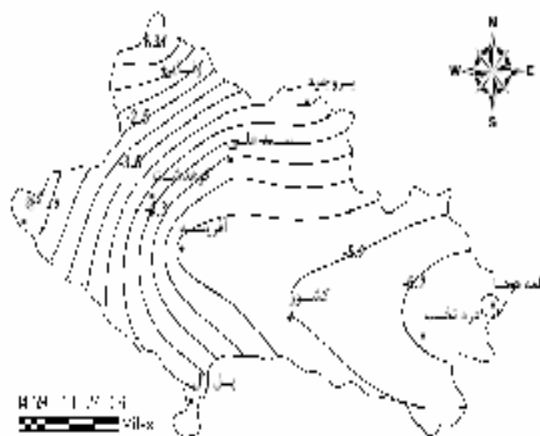
خشکسالی با تداوم ۱، ۴، ۵ و ۶ ماه روی می‌دهد. با حرکت به عرضهای بالاتر و قسمت‌های غربی استان از شدت خشکسالی کاسته می‌شود. با توجه به نقشه‌های مناطق هم شدت ترسیم شده که حاصل از آنالیز ایستگاه‌ها است.

#### منابع

- ۱- ترابی ص. ۱۳۸۱. تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی و اثرات آن بر منابع آب، رساله دکتری دانشگاه امیرکبیر. ۲۵۶ صفحه.
- ۲- رضیعی ط. شکوهی ع. و ثقفیان ب. ۱۳۸۲. پیش‌بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی، مجله بیابان ۸ (۲): ۲۹۲-۳۰۷.

- 3- Dalezios N.R. Loukas A. Vasiliades L. and Liakopoulos E. 1993. Severity duration frequency analysis of droughts and wet periods in Greece. Hydrol.Sci.Jour. (45)5:751-768.
- 4- Moye L.A. Kapadia A.S. Cech I.M. and Hardy R.J. 1988. The theory of runs white application to drought predictions. J.Hydrol. 103:127-137.
- 5- Yevjevich V. 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. Colorado State Univ. Fort Collins. Co.

نقشه‌های هم‌گستره خشکسالی در منطقه براساس موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها و شدت خشکسالی در تداوم یک تا نه ماه ایستگاه‌های مورد مطالعه ترسیم شده است. در شکل ۴، نقشه‌های هم‌گستره خشکسالی با تداوم ۵ ماهه و دوره بازگشت ۱۰ ساله ترسیم شده است.



شکل ۴- نقشه نقاط هم‌شدت خشکسالی برای تداوم ۵ ماهه و دوره بازگشت ۱۰ساله

با توجه به نتایج حاصله از تئوری ران و زنجیره مارکوف در ایستگاه‌های منطقه خشکسالی با تداوم بالاتر از ۹ ماه رخ نداده است. خشکسالی با تداوم سه ماه به‌ندرت در ایستگاه‌های مورد مطالعه رخ داده و بیشترین وقوع در