

# مدیریت منابع آب با توجه به پیش بینی خشکسالی اقلیمی با استفاده از مدل زنجیره مارکف و دیگر شاخص های آماری

ارائه دهنده مقاله : فریبا ابراهیمی آذرخواران

فریبا ابراهیمی آذرخواران<sup>۱</sup>، مهسا عبدالشاه نژاد<sup>۲</sup>، فرشته پورآصف<sup>۳</sup>

faribaebrahimi@ut.ac.ir

## چکیده

پیش بینی پدیده های جوی به دو صورت دینامیکی و آماری امکان پذیر است. در میان روش های آماری زنجیره مارکف در علوم جوی در سال های اخیر مورد توجه جدی قرار گرفته است. زنجیره مارکف با روش های ساده ریاضی مانند ضرب ماتریس ها حل احتمالات مربوط به فرآیندهای وابسته را بسیار آسان نموده است. مدل زنجیره مارکف در علوم مختلفی مانند هواشناسی، اقلیم شناسی، اقتصاد و صنعت کاربرد وسیعی دارد. تاثیر تدریجی خشکسالی در طی یک دوره نسبتاً طولانی و عدم امکان تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه آن را از حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و زلزله متفاوت کرده است. مهم ترین پارامتر تاثیر گذار در خشکسالی بارش بوده که کمبود آن آستانه خشکسالی را تعیین می نماید. در این مطالعه شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی هواشناسی سه ایستگاه از وزارت نیرو در یک دوره آماری ۴۲ ساله به صورت سالیانه با استفاده از زنجیره مارکف و دیگر شاخص های آماری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که در بین سه ایستگاه، ایستگاه اول با احتمال ۴۲ درصد بیشترین احتمال را در خشکسالی های سالهای آینده خواهد داشت، همچنین نتایج حاصل از شبیه سازی خشکسالی در ده سال آینده برای سه ایستگاه فوق نشان داد که در ده سال آینده احتمال وقوع خشکسالی در هر سال در سه ایستگاه به ترتیب ۰/۲۰، ۰/۲۰ و ۰/۳۰ می باشد و امید ریاضی تعداد سالهای خشکسالی در سه ایستگاه به ترتیب ۲/۱، ۲/۶ و ۲/۹ و مدت تداوم آن به ترتیب ۲، ۱/۵ و ۱/۵ سال می باشد. واژه های کلیدی: استان لرستان، شاخص های آماری، زنجیره مارکف، خشکسالی اقلیمی.

<sup>۱</sup> - دانش آموخته رشته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران.

<sup>۲</sup> - دانشجوی رشته کارشناسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه تهران.

<sup>۳</sup> - کارشناس ارشد تاسیسات آبیاری؛ کارشناس دفتر تحقیقات شبکه های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان.

بنابر تعریف خشکسالی شامل یک دوره پیوسته و پایدار است که در این دوره مقدار آب موجود در منابع آبی منطقه به حد قابل توجهی کاهش می یابد و دچار کمبود می شود [۱]. خشکسالی به عنوان یکی از پدیده های محیطی شناخته شده است و در واقع بخش جدایی ناپذیری از تغییرات اقلیمی است که می تواند در هر منطقه جغرافیایی حادث شود و تاثیرات عمده ای بر آن منطقه بگذارد علاوه بر کمبود بارش، توزیع نامناسب فصلی بارندگی موجب تشدید اثرات زیانبار خشکسالی می شود [۲]. در هندوستان تولید محصول را در ارتباط با تغییر بارندگی با استفاده از مدل زنجیره مارکف بررسی کردند. [۳] توزیع نامناسب فصلی بارش از جمله خصوصیات است که ریسک پذیری زراعت را افزایش داده و همواره کشت محصول زراعی را تهدید می کند. عوامل آب و هوایی متغیرهای کنترل نشده و وابسته به یکدیگرند و شناخت دقیق آنها و نوع ارتباط هر یک با دیگری می تواند در برنامه ریزی زراعی بسیار مؤثر باشد. هنوز یک تعریف پذیرفته شده جهانی در باره خشکسالی وجود ندارد. این امر منجر به تعریف شاخص های مختلفی شده است، در مناطق گرمسیری و پر باران استوایی اگر مقدار بارش نسبت به نرمال سالیانه دچار کاهش نسبی گردد و خشکسالی هواشناسی در منطقه حاکم شود، این امکان وجود دارد که این کاهش تاثیر محسوس بر منابع آبی منطقه نگذارد و به عبارتی از لحاظ هیدرولوژیکی، خشکسالی اتفاق نیافتد. اما در مناطق حساس فزایش و خشک، کاهش بارندگی تاثیر عمیق بر روی منابع آب می گذارد و در بسیاری از موارد خشکسالی های هواشناسی با خشکسالیهای هیدرولوژیکی تماماً اتفاق می افتد، از این رو شرایط خشکسالی ممکن است در مناطقی نظیر بریتانیا در حد یک دوره ۲۱ روزه باشد، در حالیکه در بسیاری از مناطق گرمسیری دنیا مانند لیبی خشکسالی زمانی اتفاق افتد که بمدت دو سال پیاپی هیچ بارانی ندارد. [۴] بعضی از تعاریف خشکسالی بارش های روزانه، هفتگی و یا دورهای کوتاه مدت را مد نظر قرار می دهند، بررسی های آماری به روشهای مختلف از جمله تحلیل سریهای زمانی، همبستگی خطی و غیر خطی، مدلهای ARMA و استفاده از توزیع های آماری شناخته شده نظیر توزیع نرمال، گمبل، پیرسون انجام می گیرد. در میان روشهای آماری زنجیره مارکف در علوم جوی در سال های اخیر مورد توجه جدی قرار گرفته است. زنجیره مارکف با روش های ساده ریاضی مانند ضرب ماتریس ها حل احتمالات مربوط به فرآیندهای وابسته را بسیار آسان نموده است. مدل زنجیره مارکف در علوم مختلفی مانند هواشناسی، اقلیم شناسی، اقتصاد و صنعت کاربرد وسیعی دارد.

## موقعیت جغرافیایی

استان لرستان در غرب ایران، بین چهل و شش درجه و پنجاه و یک دقیقه تا پنجاه درجه و سه دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و سی و دو درجه و سی و هفت دقیقه تا سی و چهار درجه و بیست و دو دقیقه عرض شمالی از خط استوا قرار گرفته و وسعت آن حدود بیست و هشت هزار و پانصد و پنجاه و نه کیلومتر مربع است. این استان از شمال به استان های مرکزی و همدان، از جنوب به استان خوزستان، از شرق به اصفهان و از غرب به استان های کرمانشاه و ایلام محدود شده است. حوضه آبریز رودخانه مساحتی معادل ۹۵۰۲۰۷ کیلومتر مربع دارد. این رودخانه یکی از شعب مهم و پرآب رودخانه کرخه بوده که شاخه اصلی این رودخانه از کوه های کاکارضا سرچشمه می گیرد و بعد از طی مسیر طولانی و الحاق رودخانه هایی چون چولهول و مادیان رود در محل پل گاومیشان به رودخانه سیمره متصل می گردد. در نهایت در روستای سفید به رودخانه کرخه می پیوندد.

## مواد و روشها

در این تحقیق با استفاده از داده های بارندگی سالانه سال آبی ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۰ ایستگاههای باران سنجی ۳ ایستگاه بارانسنجی از وزارت نیرو شرکت تمام برای بررسی پدیده خشکسالی از دیدگاه هواشناسی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از

جمع آوری داده ها و اطمینان از صحت ، تصادفی و همگنی آنها با استفاده از آزمون همبستگی ، و بازسازی دادهها جهت مطالعه ی پدیده خشکسالی نمایه دهک ها به عنوان شاخص هواشناسی انتخاب گردید. سال خشک ( D ) و سالهای نرمال ( N ) و مرطوب ( W ) در نظر گرفته شدند. سپس با استفاده از زنجیره مارکف ماتریس احتمال انتقال و همچنین ماتریس ایستا برای تعیین وضعیت بارندگی منطقه در دراز مدت محاسبه شد. در مرحله بعد با استفاده از آزمون دنباله ها طول دوره های خشکسالی و شدت آنها محاسبه شد و در آخر با ترکیب تکنیک های آزمون دنباله ها و زنجیره مارکف احتمال رخداد خشکسالی در ده سال آینده پیش بینی شد.

اولین بار توسط گیسیس و ماهر برای اجتناب از بعضی از نقاط ضعف روش درصد نرمال به کار گرفته شد [۱] . به منظور محاسبه دهک ها ابتدا داده های بارندگی ماهانه یا سالانه به صورت صعودی یا نزولی مرتب می شوند پس احتمال وقوع بارش یک ماه یا سال معینی از رابطه زیر تعیین می شود.

$$PIS = \frac{I}{N+1} \times 100 \quad (1)$$

PI: احتمال بارندگی در شماره ردیف

N: تعداد داده های بارندگی

در این صورت برحسب این که یک مقدار در چه فاصله ای دهکی ۱۰ درصدی قرار گرفته باشد مطابق جدول ۱ یکی از درجات خشکسال برتری نسبت داده می شود طبق تعریف دهک اول مقدار بارندگی است که از کمترین ۱۰ درصد احتمال وقوع بارش تجاوز نماید دهک دوم، مقدار بارندگی است که از کمترین ۲۰ درصد احتمال وقوع بارش تجاوز نکند .

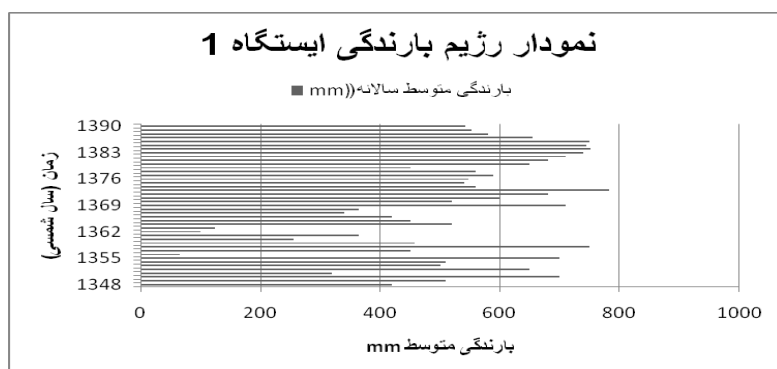
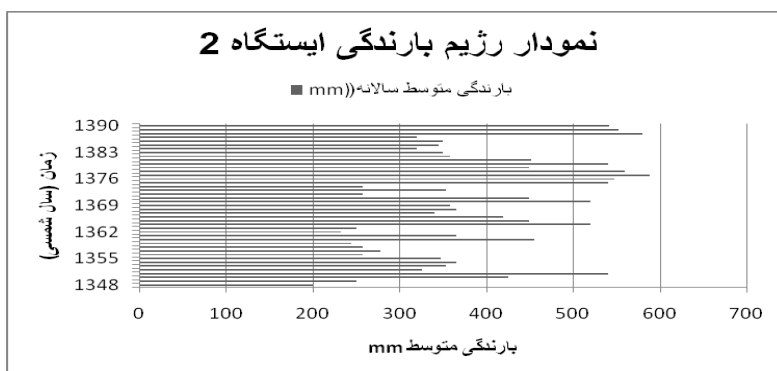
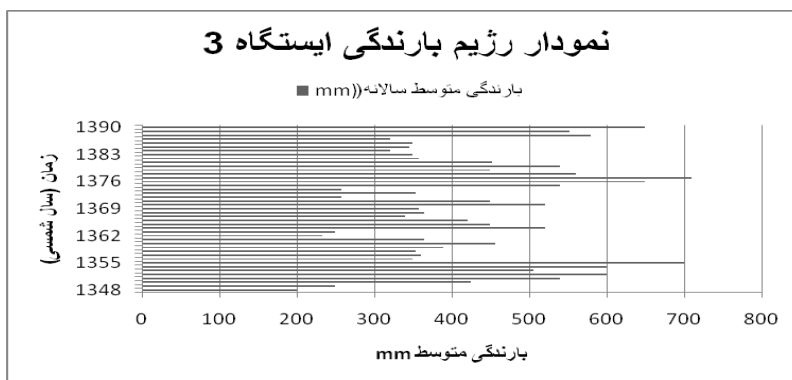
زنجیره مارکف حالت خاصی از مدلهایی است که در آنها حالت فعلی یک سیستم به حالتهای قبلی آن بستگی دارد . در تعیین حالت سیستم با استفاده از مدل مارکف باید دو عامل رامشخص نمود . این دو عامل عبارتند از حالت سیستم در زمان مشخص و احتمالات تغییر حالت خاص به حالتهای ممکن دیگر، که اصطلاحاً احتمالات گذار نامیده میشوند [۴].

اگر مجموعه حالات ممکن در یک زنجیره مارکف محدود باشد میتوان یک ماتریس مربع P را تشکیل داد که عناصر آن  $P_{ij}$  عموماً معرف ماتریس احتمال گذار است. احتمال حالتهای آغازین سیستم درستون سمت چپ و احتمال حالت هایی که سیستم از آنها گذار می کند در طول سطرهای ماتریس نشان داده شده است. ماتریس احتمال گذار دارای خواص زیر است:

الف ) برای تمام عناصر ماتریس احتمال گذار داریم:

$$0 \leq p_{ij} \leq 1 \quad (2)$$

ب ) جمع احتمالات گذار از یک حالت به تمام حالتهای ممکن دوره زمانی بعدی باید برابر یک باشد. در صورتیکه بتوان ماتریس انتقال را به تعادل رسانید یعنی احتمال انتقال از همه ی حالت ها به یک حالت خاص را به عدد ثابتی میل داد ، می توان به کمک این احتمالات به تعادل رسیده وضعیت سیستم را در دراز مدت پیش بینی نمود. به ماتریس حاصل ماتریس تعادل یا ایستا گفته می شود. تمام سطرهای ماتریس مزبور یکسان می باشند به نحوی که اگر ماتریس احتمال انتقال یک ماتریس  $3 \times 3$  باشد، ماتریس مذکور قابلیت انتقال به یک ماتریس  $1 \times 3$  را خواهد داشت. برای بدست آوردن این ماتریس باید ماتریس احتمال انتقال را بی نهایت بار در خودش ضرب کرد . هر کدام از درایه های ماتریس ایستا معرف درصد دوره هایی است که منطقه در دراز مدت در آن حالت باقی می ماند. امید ریاضی خشکسالی برابر است با حاصل ضرب احتمال رخداد خشکسالی در طول دوره شبیه سازی :



شکل ۱ نمودار رژیم بارندگی ایستگاه ه

$$E(D) = P_D \times t \quad (3)$$

$E(D)$  = تعداد متوسط خشکسالی مورد انتظار در دوره شبیه سازی

$P_D$  = احتمال رخداد خشکسالی

$t$  = طول دوره خشکسالی

$P_D$  در رابطه فوق در واقع عبارت است از احتمال رفتن از حالت‌های غیر از خشکی به خشکی

$$P_D = P_N^* \cdot P_{N,D} + P_W^* \cdot P_{W,D} \quad (4)$$

$P_N^*$  = احتمال ایستای حالت نرمال

$P_{N,D}$  = احتمال تغییر حالت از نرمال به خشک

$P_W^*$  = احتمال ایستای حالت مرطوب

$P_{W,D}$  = احتمال تغییر حالت از مرطوب به خشک

برای پیش بینی مدت دوام خشکسالی به طور متوسط در آینده از رابطه ی زیر استفاده می کنیم

$$E(L) = P_D^* / P_D \quad (5)$$

$P_D^*$  = احتمال ایستای حالت خشک

### بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از بررسی ها نشان می دهد که در طول دوره آماری مطالعه شده، ایستگاههای کاکارضا وافرینه هرکدام ۸ دوره و چم انجیر ۶ دوره خشکسالی داشته اند، و هر ایستگاه دارای یک دوره خشکسالی با طول دوره دو سال دارند. بیشترین شدت خشکسالی دوره آماری ایستگاههای بترتیب ۱۶۸/۳۹ در سال ۱۳۵۸، ۹۲/۷۰ در سال ۱۳۸۶ و ۱۶۱/۶۹ در سال ۱۳۷۲ می باشد. نکته قابل توجه از مشاهده نمودارها اینکه هر سه ایستگاه در سالهای ۱۳۶۲ و ۱۳۸۶ دچار خشکسالی شده اند که بیشترین شدت متعلق به ایستگاه کاکارضا با شدت ۲۴۴/۳۹ در سال ۱۳۶۲ و ۹۲/۷۰ در سال ۱۳۸۶ متعلق به ایستگاه چم انجیر می باشد. هم چنین ایستگاههای دوم و سوم دارای ۶ دوره خشکسالی مشترک در سالهای ۴۸، ۵۱، ۶۲، ۶۹، ۷۱، ۷۷ و ۱۳۸۶ می باشند و ایستگاههای اول و دوم دارای ۴ دوره خشکسالی مشترک در سالهای ۶۲، ۷۷، ۸۱ و ۱۳۸۶ می باشند و ایستگاههای اول و سوم دارای ۳ دوره خشکسالی مشترک در سالهای ۶۲، ۷۷ و ۱۳۸۶ می باشند. با توجه به داد های موجود تجزیه و تحلیل انجام شده است و نتایج در جدول (۱) بیان گردیده است.

جدول (۱) ماتریس تعادل ایستگاههای مورد مطالعه

نام ایستگاه	D	N	w
اول	۰/۴۲	۰/۲۲	۰/۳۶
دوم	۰/۴	۰/۲	۰/۴
سوم	۰/۴	۰/۲	۰/۴

جدول ماتریس های بالا نشان می دهد که در بین سه ایستگاه، در سالهای آتی در وضعیت مرطوب چم انجیر و افرینه با احتمال ۰/۴۰، در وضعیت خشک کاکارضا با احتمال ۰/۴۲ و در وضعیت نرمال کاکارضا با احتمال ۰/۲۲، بیشترین احتمال را در بین سه ایستگاه را به خود اختصاص داده اند.

جدول ( ۲ ) نتایج شبیه سازی خشکسالی در ده سال آینده برای سه ایستگاه

ایستگاه	E(L)	E(D)	P <sub>D</sub>
اول	۲	۲/۱	۰/۲۰
دوم	۱/۵	۲/۶	۰/۲۲
سوم	۱/۵	۲/۹	۰/۳۰

جدول (۲) نشان می دهد که در ده سال آیند احتمال وقوع خشکسالی در هر سال در سه ایستگاه بترتیب ۰.۲۰، ۰.۲۰، ۰.۳۰ و ۰.۲۲ می باشد و امید ریاضی تعداد سالهای خشکسالی در سه ایستگاه بترتیب ۲/۱ ، ۲/۶ و ۲/۹ و مدت تداوم آن به ترتیب ۲ ، ۱/۵ و ۱/۵ سال می باشد.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از سازمان آب و برق خوزستان و دفتر تحقیقات و استانداردهای مهندسی آب به دلیل حمایت های بعمل آمده در تهیه مقاله قدردانی می گردد.

### منابع

- ۱- رضیئی، ط.، شکوهی، ع.، ثقفیان، ب.، " پیش بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی با استفاده از روشهای احتمالاتی و سریهای زمانی در استان سیستان و بلوچستان "، بیابان جلد ۸ ، ۱۳۸۲ .
- ۲- زارع ابیانه ، ح. ، محبوبی، ع ، " بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخص های آماری " ، شماره ۶۴ ، پژوهش و سازندگی.
- ۳- حقیقت جو ، پ. ، شاه محمدی حیدری ، ز.، " کاربرد زنجیره مارکف در بررسی احتمالات خشکسالی و ترسالی منطقه سیستان با توجه به بده رودخانه هیرمند " ، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، ۱۳۸۰.
- ۴- جعفری، ف.، "تحلیل آماری دوره های تر و خشک بارندگی در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از زنجیره مارکف" ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.