

تحلیل و پیش بینی آماری خشکسالی در شهرستان بروجرد

فریدون رادمنش¹، لیلا گودرزی²

1- استادیار گروه هیدرولوژی دانشگاه شهید چمران

2- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه شهید چمران

چکیده

خشکسالی که بخش جدایی ناپذیر تغییرات اقلیمی می باشد از دیدگاه های مختلفی قابل بررسی است. در این مطالعه شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی هواشناسی در سطح شهرستان بروجرد مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا با استفاده از نمایه دهکها، وضعیت بارندگی های سالانه به لحاظ ترسالی و خشکسالی مشخص گردید. سپس با استفاده از زنجیره مارکف اقدام به ساخت ماتریس احتمال انتقال و ماتریس ایستای منطقه شد. در مرحله بعد با به کارگیری آزمون دنباله ها و تعیین سطح آستانه، شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی در طول دوره مورد مطالعه 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.

کلمات کلیدی: خشکسالی هواشناسی، آزمون دنباله ها، زنجیره مارکف، بروجرد.

مقدمه

علوم جوی و نیز اقلیم شناسان کشورهای مختلف جهان به جستجوی راه هایی برای مقابله با آن از طریق مطالعه شرایط وقوع دوره های این رخداد در زمان های گذشته و نیز پی بردن به رفتارهای خاص آن در خصوص نحوه تکرار این دوره ها در آینده اقدام نمایند.

بررسی های آماری به روش های مختلف از جمله تحلیل سری های زمانی، همبستگی خطی و غیر خطی و استفاده از توزیع های آماری شناخته شده نظیر توزیع نرمال، گمبل و پیرسون انجام می گیرد. در میان روش های آماری زنجیره مارکف در علوم جوی در سال های اخیر مورد توجه جدی قرار گرفته است.

سابرا مانیام و سان جیوا (۱۹۸۶) در هندوستان با استفاده از مدل زنجیره مارکف تولید محصول را در ارتباط با تغییر بارندگی بررسی کردند. خاویر مارتین وید و لیدا گومز (۱۹۹۸) کار منطقه بندی شبه جزیره اسپانیا را بر مبنای طول دوره های خشک از طریق روش زنجیره مارکف انجام دادند و بر اساس آن نواحی مختلف این کشور را تقسیم بندی کردند. در ایران، هاشمی (۱۳۴۷) با

بنا بر 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. ویژگی های خشکسالی ممکن است در رژیم های مختلف آب و هوایی دنیا متفاوت باشد. در مناطق گرمسیری و پربراران 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 محسوسی بر منابع آبی منطقه نگذارد و به عبارتی از لحاظ هیدرولوژیکی، خشکسالی اتفاق نیافتد، اما در مناطق حساس فراهشک و خشک، کاهش بارندگی تاثیر عمیق بر روی منابع آب می گذارد و در بسیاری از موارد خشکسالی های هواشناسی با خشکسالی های هیدرولوژیکی توأمآ اتفاق می افتد (رضیئی و همکاران، 1381).

وقوع پدیده خشکسالی و اثرات زیانبار آن که بخش های مختلف زندگی انسان را تحت تاثیر خود قرار داده است باعث شده که مخصوصاً در دهه های اخیر متخصصان

دهک بالای داده ها به ترتیب 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 دنباله‌ها طول دوره‌های خشکسالی و شدت آنها محاسبه شد و در آخر با ترکیب تکنیک‌های آزمون دنباله‌ها و زنجیره مارکف احتمال رخداد خشکسالی در ده سال آینده پیش بینی شد. نتایج حاصل از چهار روش در قسمت بعد آورده شده است.

نمایه دهکها

این روش توسط استرالیایی‌ها ارائه گردید که به روش دهکها مرسوم است. در این روش ابتدا مقادیر بارندگی را به ترتیب صعودی مرتب کرده و سپس وضعیت بارندگی برای هر دهک مشخص می‌شود. مهمترین عیب نمایه دهکها آن است که برای استفاده از آن لازم است تعداد سال‌های آماری بسیار زیاد باشد.

آزمون دنباله‌ها

از روش‌های متداول تحلیل خشکسالی، آزمون دنباله‌ها است. یوجویچ با استفاده از این روش سه ویژگی مهم خشکسالی (تداوم، شدت و بزرگی خشکسالی) را تعریف و تشریح کرد (علیزاده). در این روش یک آستانه برای خشکسالی در نظر گرفته می‌شود (X0) به طوری که اگر مقدار بارندگی در هر سال کمتر از آن باشد آن سال یک سال خشک به حساب می‌آید. آستانه بارندگی برای خشکسالی‌ها معمولاً ۷۵ تا ۸۰ درصد متوسط بارندگی سالانه است. اگر در هر دوره مجموع مقادیر منفی خشکسالی -X (X0) محاسبه شود مقدار خشکسالی (Si) خواهد بود. نسبت مقدار

استفاده از مدل زنجیره مارکف به بررسی آمار بارندگی روزانه در تهران پرداخت. وی آستانه تری و خشکی را برای بارندگی 0/2 میلیمتر در نظر گرفت و فراوانی دوره‌های خشک و تر چند روزه را ابتدا با استفاده از مدل مارکف و سپس با استفاده از مدل برنولی برآورد نمود. جعفری بهی (1387) به کمک زنجیره مارکف احتمالات پیشامدهای متوالی روزه‌های خشک (غیر بارانی) و تر (بارانی) با آستانه 0/1 میلیمتر در روز را در ایستگاه‌های بوشهر، شیراز، اصفهان، کرج و بندر انزلی تحلیل نمود و نتیجه گرفت که داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه برآزش خوبی بر زنجیره مارکف مرتبه اول دارد.

مواد و روشها

شهرستان بروجرد با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۵ دقیقه در شمال شرقی استان لرستان واقع شده است. این شهرستان ۱۶۶۰۶ کیلومتر مربع مساحت دارد و دارای آب و هوای معتدل کوهستانی با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد است.

در این تحقیق با استفاده از داده‌های بارندگی سالانه ایستگاه هواشناسی مستقر در منطقه مورد مطالعه (از سال ۶۸ تا ۸۸)، پدیده خشکسالی از دیدگاه هواشناسی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از جمع آوری داده‌ها، صحت و همگنی داده‌ها، با آزمون ران تست (run test) بررسی شد که نتیجه این آزمون حاکی از همگنی داده‌ها در ایستگاه مورد نظر بود. جهت مطالعه پدیده خشکسالی نمایه دهکها به عنوان شاخص هواشناسی انتخاب گردید. بدین صورت که چهار دهک پایین داده‌ها سال خشک (D) و دو دهک میانی و چهار

امید ریاضی خشکسالی برابر است با حاصل ضرب احتمال رخداد خشکسالی در طول دوره شبیه‌سازی:

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

که در آن:
 $E(D)$ = امید ریاضی خشکسالی (تعداد متوسط خشکسالی مورد انتظار در دوره شبیه‌سازی)
 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

(3)
 $P_D = P_N^* \cdot P_{N,D} + P_W^* \cdot P_{W,D}$
 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 رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم

$$E(L) = P_D^* / P_D \quad (4)$$

P_D^* = احتمال ایستای حالت خشک

نتیجه و بحث
تعیین وضعیت بارندگی سالانه در طول دوره مورد مطالعه با استفاده از نمایه دهکها

خشکسالی به طول دوره خشکسالی شدت خشکسالی در هر دوره می‌باشد.

زنجیره مارکف

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 را مشخص 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.

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 در ستون سمت چپ و احتمال حالت‌هایی که سیستم از آنها گذار می‌کند در طول سطرهای ماتریس نشان داده شده است. ماتریس احتمال گذار دارای خواص زیر است:

الف) برای تمام عناصر ماتریس احتمال گذار داریم:

$$\forall i, j \quad 0 \leq p_{ij} \leq 1 \quad (1)$$

ب) جمع احتمالات گذار از یک حالت به تمام حالت‌های ممکن دوره زمانی بعدی باید برابر یک باشد.

ترکیب تکنیک‌های زنجیره مارکف و آزمون دنباله‌ها برای شبیه‌سازی خشکسالی

جدول شماره 1- وضعیت بارندگی سالانه ایستگاه بروجرد

سال	وضعیت بارندگی	سال	وضعیت بارندگی	سال	وضعیت بارندگی
۶۸	D	۷۵	D	۸۲	N
۶۹	D	۷۶	N	۸۳	W
۷۰	W	۷۷	W	۸۴	D

گودرزی

۷۱	W	۷۸	D	۸۵	N
۷۲	N	۷۹	W	۸۶	W
۷۳	W	۸۰	D	۸۷	D
۷۴	W	۸۱	D	۸۸	N

عدد ثابتی میل داد، می‌توان به کمک این احتمالات به تعادل رسیده وضعیت سیستم را در دراز مدت پیش بینی نمود. به ماتریس حاصل ماتریس تعادل یا ایستا گفته می‌شود.

تمام سطرهای ماتریس مزبور یکسان می‌باشند به نحوی که اگر ماتریس احتمال انتقال یک ماتریس 3×3 باشد، ماتریس مذکور قابلیت انتقال به یک ماتریس 1×3 را خواهد داشت. برای بدست آوردن این ماتریس باید ماتریس احتمال انتقال را بی نهایت بار در خودش ضرب کرد. هر کدام از درایه‌های ماتریس ایستا معرف درصد دوره‌هایی است که منطقه در دراز مدت در آن حالت باقی می‌ماند.

جدول شماره 3- ماتریس تعادل ایستگاه بروجرد

	W	N	D
W	۴۴۵/۰	۲۵۹/۰	۲۹۶/۰

ماتریس فوق (جدول 3) نشان می‌دهد که ایستگاه بروجرد در سال‌های آتی $0/۴۴$ دوره‌ها را در وضعیت مرطوب، $0/۲۶$ دوره‌ها در وضعیت نرمال و $0/۳۰$ دوره‌ها در وضعیت خشک خواهد بود.

مقایسه این روش با نمایه دهکها (شکل 1) نشان می‌دهد که در $0/۶۵$ دوره‌ها نتایج حاصل از هر دو روش مشابه هستند و در $0/۳۵$ دوره‌ها وضعیت بارندگی پیش

پیش‌بینی شدت و تداوم خشکسالی
با استفاده از زنجیره مارکف

جدول (1) کل حالت‌های در نظر گرفته شده برای وضعیت بارندگی سه حالت خشک (D)، نرمال (N) و مرطوب (W) می‌باشد. بنابراین ماتریس احتمال انتقال دارای نه درایه می‌باشد باید توجه داشت که جمع درایه‌های هر سطر یک شود. ماتریس محاسبه شده به صورت زیر می‌باشد:

جدول شماره 2- ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکف

	W	N	D
W	۲۵/۰	۱۲۵/۰	۶۲۵/۰
N	۱	۰	۰
D	۲۵/۰	۵/۰	۲۵/۰

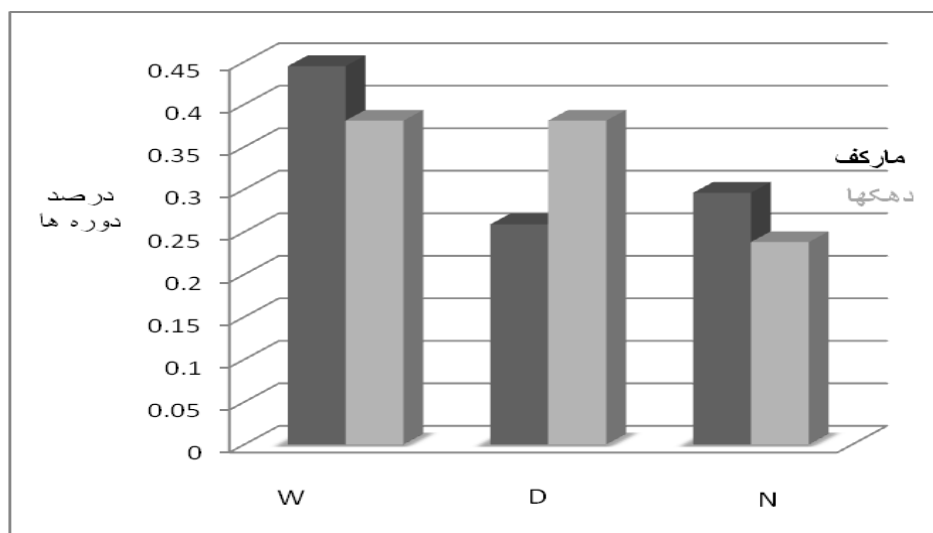
از ماتریس فوق (جدول 2) نتیجه می‌شود که احتمال تغییر حالت از یک سال نرمال به سالی مرطوب برابر یک است از آنجا که با قطعیت نمی‌توان چنین نتیجه‌ای را عنوان کرد، وجود این درایه محدودیت نمایه دهکها را برای دوره‌های آماری کوتاه نشان می‌دهد.

در صورتی که بتوان ماتریس انتقال را به تعادل رسانید یعنی احتمال انتقال از همه حالت‌ها به یک حالت خاص را به

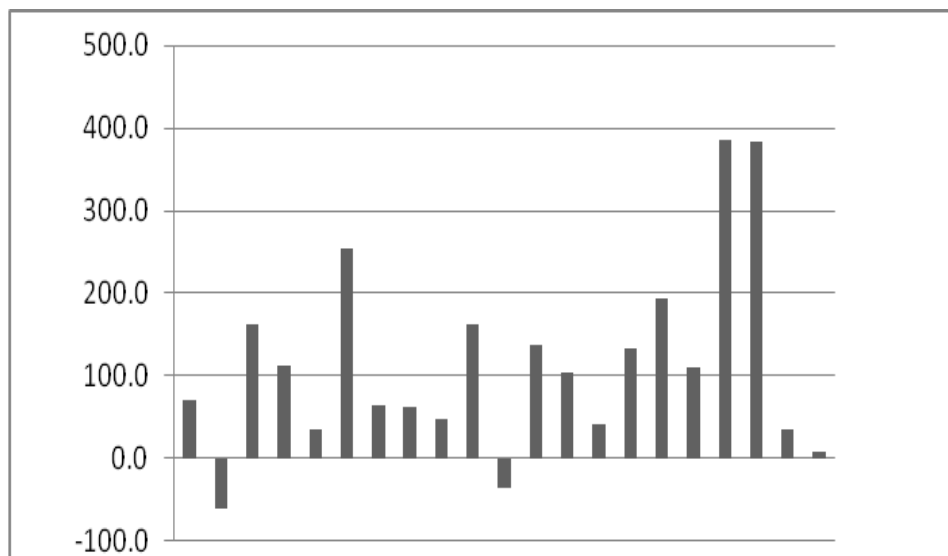
دوره آماری مطالعه شده، دو دوره خشکسالی در سال‌های ۸۷ و ۷۸ با شدت‌های $۳۵/۸-$ و $۶۱/۹-$ اتفاق افتاده که طول هر دو دوره تنها یکسال و فاصله دو دوره هشت سال بوده است.

بینی شده از زنجیره مارکف با نتیجه حاصل از نمایه دهکها همخوانی ندارد.

بررسی شدت و تداوم خشکسالی با استفاده از آزمون دنباله‌ها
 نمودار حاصل از این روش (شکل 2) نشان می‌دهد که در طول



شکل شماره 1- مقایسه روش مارکف و نمایه دهکها



شکل شماره 2- آزمون دنباله‌ها برای ایستگاه بروجرد

جدول شماره 4- نتایج حاصل از شبیه‌سازی خشکسالی در ده سال آینده

PD	E(D)	E(L)
۲۷۸/۰	۷۸/۲	۰۶۴/۱

نتایج حاصل از ترکیب تکنیک‌های زنجیره مارکف و آزمون دنباله‌ها برای شبیه‌سازی خشکسالی

مارکف و توزیع نرمال (مطالعه
موردی قزوین).

2- حجازی زاده، زهرا، علیرضا
شیرخانی، (۱۳۸۲). تحلیل و
پیش‌بینی آماری خشکسالی و
دوره‌های خشک کوتاه مدت در استان
خراسان.

3- فتاحی، ابراهیم، عبدا...
مداقت کردار. تحلیل منحنی‌های
شدت-مدت- فراوانی خشکسالی در
ایستگاه‌های برگزیده جنوب غرب
ایران.

4- رضیئی، طیب، علیرضا شکوهی،
بهرام ثقفیان، (۱۳۸۱). پیش
بینی شدت، تداوم و فراوانی
خشکسالی با استفاده از روش‌های
احتمالاتی و سری‌های زمانی در
استان سیستان و بلوچستان.

5- علیزاده، امین، (۱۳۸۷)،
اصول هیدرولوژی کاربردی،
دانشگاه امام رضا، مشهد.

جدول (4) نشان می‌دهد که در
ده سال آیند احتمال وقوع
خشکسالی در هر سال تقریباً
0/۲۸ و امید ریاضی تعداد
سال‌های خشکسالی و مدت تداوم آن
به ترتیب ۳ و ۱ سال می‌باشد.

سیاسگزاری

بدینوسیله از کارشناسان
محترم هواشناسی استان لرستان
که اطلاعات مربوط را در اختیار
قرار دادند صمیمانه تشکر
می‌شود.

منابع

1- یوسفی، نصرت...، سهراب
حجام، پرویز ایران نژاد،
(۱۳۸۶). برآورد احتمالات خشکسالی
و ترسالی با استفاده از زنجیره