تحلیل و پیش بینی خشکسالی‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک خوی

دکتر فرامرز خوش اخلاق، عضو هئیت علمی دانشگاه تهران

علی حنفی، کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه تهران

سعید احمدی، کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه تهران

چکیده

خشکسالی از جمله مهمترین مخاطرات طبیعی است که به صورت آرام وخزنده عمل می‌کند. این پدیده ناشی از فرآیندهای آب و هوایی است و شدت و فراوانی آن تا حدودی به موقعیت جغرافیایی محل بستگی دارد که هر چند سال یک بار در نتیجه کاهش میزان بارندگی اتفاق می‌افتد. به منظور مطالعه و بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه خوی، داده‌های ۳۲ ساله (۲۰۰۷-۱۹۷۶) بارش این ایستگاه با استفاده از شاخص توزیع استاندارد و با استفاده از نرم افزارهای Excel و SPSS مورد تحلیل قرار گرفت و مشخص شد که شدیدترین خشکسالی‌های ایستگاه خوی در سال‌های ۱۹۹۵ با ضریب SPI بیش از ۱/۶- و در سال ۲۰۰۱ با ضریب SPI بیش از ۱/۴- بوده، در حالی که بیشترین ترسالی آن در سال ۱۹۸۲ با ضریب SPI بیش از ۲/۸ رخ داده است.

از نکات قابل توجه در مورد استمرار و توالی خشکسالی، وقوع خشکسالی‌های شدید در طی سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۵ با درجه‌های متفاوت در این ایستگاه می‌باشد. برای پیش بینی وضعیت اقلیمی ایستگاه خوی در درازمدت از مدل زنجیره مارکوف استفاده گردید، که بر اساس آن احتمال خشکسالی‌ها ۴۳ درصد و احتمال وقوع ترسالی‌ها ۴۲/۷ درصد می‌باشد. در بقیه مواقع یعنی در ۱۴/۳ درصد اوقات حالت نرمال بارش حاکم است. همچنین به روش مشابه احتمال خشکسالی‌ها در درازمدت در فصل زمستان، بهار و پاییز به ترتیب ۴۱/۸، ۳۰/۵ و ۵۷/۳ برآورد گردید.

واژگان کلیدی: خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، زنجیره مارکوف، ایستگاه خوی.

مقدمه

خشکسالی ویژگی طبیعی و برگشت‌پذیر محیطی است که تقریباً در تمامی رژیم‌های آب و هوایی رخ می‌دهد و در صورت استمرار اثرات جبران ناپذیری را به دنبال دارد. به طور کلی خشکسالی نتیجه کاهش طبیعی مقدار بارشی است که باید به طور متوسط در یک دوره معین، (مثلاً یک فصل یا سال) ببارد. *(بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۵)* شروع این پدیده نامحسوس بوده و بدلیل ویژگی تراکمی اثرات آن ویرانگر است *(خوش اخلاق، ۱۳۸۴)*. همه‌ی مناطق دنیا به طور موقت، اما نامنظم از تکرار شرایط خشکسالی رنج می‌برند، اما این وضعیت در مناطقی که از نظر اقلیمی به طور نامنظم توسط سامانه‌های مختلف آب و هوایی تحت تأثیر قرار می‌گیرند، بیشتر مشاهده می‌شود. *(رضیئی و همکاران، ۱۳۸۲، ۲۹۲-۳۱۰)*

خشکی و خشکسالی یکی از ویژگی‌های اجتناب‌ناپذیر و زیانبار اقلیمی کشور ایران محسوب می‌شود. *(شاه محمدی و دیگران، ۱۳۸۰، ۶۳)* زمان آغاز تا پایان خشکسالی به عنوان دوره‌ی تداوم خشکسالی خوانده می‌شود. برای کاهش اثرات خشکسالی شناخت خصوصیات متعدد خشکسالی نظیر زمان شروع، وسعت و شدت خشکسالی ضروری است. *(دالسیوس[1] و همکاران، ۱۹۹۱، ۸۸-۷۵)* شاخص SPI به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارش، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و قابلیت بسیار زیاد در کّمی کردن نتایج، می‌تواند به عنوان یکی از مناسبترین شاخص‌ها برای تحلیل خشکسالی به ویژه تحلیل مکانی شناخته شود. *(هایز و همکاران[2]، ۱۹۹۹، ۴۳۷-۴۲۹)* ویژگی‌های SPI این مکان را می‌دهد تا وضعیت منابع آب را برای دهه‌ها و تداوم‌های کوتاه مدت که در کشاورزی و مطالعه رطوبت قابل دسترسی گیاه مناسب است و نیز مقیاس‌های زمانی بلند مدت که در مطالعه جریان‌های رودخانه‌ای و مخازن آب زیرزمینی دارای اهمیت است مورد مطالعه قرار داد. *(لویـد هـوگس[3] و ساندرس[4]، ۲۰۰۲، ۱۵۹۲-۱۵۷۱)* مک کی و همکاران[5] (۱۹۹۳) به منظور تعریف و پایش خشکسالی‌ها، شاخص بارش استاندارد را معرفی و برای اولین بار آن را در ایالت کلرادو مورد استفاده قرار دادند.

خورشید دوست و قویدل رحیمی (۱۳۸۴)، دوره‌های خشک و مرطوب بهاره‌ی استان آذربایجان شرقی را با استفاده از مدل SPI در مقطع زمانی سه ماهه (فصلی) و سری زمانی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. رفیعی و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی خود در مورد خشکسالی سیستان و بلوچستان به این نتیجه رسیدند که در نواحی جنوبی این استان تداوم خشکسالی کمتر از نواحی دیگر بوده در حالی که در ناحیه شمالی این استان تداوم دوره‌های خشک بیشتر است که خود سبب می‌گردد خشکسالی اثرات نامطلوب بیشتری در این نواحی داشته باشد. خوش اخلاق (۱۳۷۷) با بررسی‌های الگوهای ماهانه‌ی خشکسالی و ترسالی در ایران به روش سینوپتیکی با استفاده از شاخص استاندارد Z، به شناسایی دوره‌های خشک وتر پرداخته است.

در میان روش‌های آماری کاربرد زنجیره‌ی مارکف در علوم جوّی در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. زنجیره‌ی مارکف با روش‌های ساده‌ی ریاضی (مانند ضرب ماتریس‌ها) حل احتمالات مربوط به فرآیندهای وابسته را بسیار آسان نموده است. مدل اخیر در علوم مختلفی مانند هواشناسی، اقلیم‌شناسی، اقتصاد و صنعت کاربرد وسیعی دارد. سابرامانیام[6] و سان جیوا[7] (۱۹۸۶) در سواحل آندهرا واقع در هندوستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف تولید محصول را در ارتباط با تغییرات

بارش بررسی کردند. آزام[۸] و همکاران (۱۹۹۰) در برآورد بازده مراتع با استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری، از مدل زنجیره مارکوف بهره جستند و اثرات بارش، تعداد دام و چگونگی چرا را روی محصول مرتعی بررسی کردند.

الفکی[۹] و افرینگ[۱۰] (۱۹۹۶) برای پیش‌بینی عمق آب‌های زیرزمینی در ماه‌های مختلف سال از مدل زنجیره مارکوف استفاده کردند.

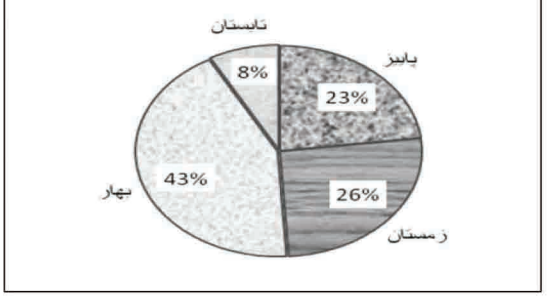
جعفری بهی (۱۳۷۸) به کمک زنجیره مارکوف احتمالات پیشنهادهای متوالی روزهای خشک وتر با آستانه ۰/۱ میلی‌متر در روز برای ماه‌های نوامبر تا آوریل سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۶۵ را در ایستگاه‌های بوشهر، شیراز، اصفهان، کرج و بندرانزلی تحلیل نمود و نتیجه گرفت که داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های مذکور برازش خوبی با زنجیره مارکوف مرحله اول دارد. مالکی (۱۳۷۴) به مدل سازی خشکسالی در غرب کشور با استفاده از مدل ARIMA پرداخته و نتیجه گرفت که این مدل تا حدودی می‌تواند در پیش بینی خشکسالی‌ها مفید باشد. علیجانی (۱۳۸۱) در پیش بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران با استفاده از مدل باکس - جنکینز پیش بینی کرد که در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ در ایستگاه‌های قائم شهر و بابلسر دوره‌های ترسالی و رامسر و نوشهر دوره‌ی خشکسالی رخ می‌دهد.

موقعیت جغرافیایی منطقه

شهرستان خوی از لحاظ مختصات جغرافیایی در ۴۴ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این شهرستان از لحاظ تقسیمات سیاسی در شمال استان آذربایجان غربی قرار دارد و از شرق با شهرستان شبستر، از غرب با کشور ترکیه، از شمال با قره‌ضیاءالدین، و از جنوب با شهرستان سلماس همسایه می‌باشد. مشخصات جغرافیایی و موقعیت ایستگاه خوی در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک خوی

نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	دوره آماری
سینوپتیک	۴۴°۵۸´	۳۸°۳۳´	۱۱۰۳/۳ متر	۱۹۷۶-۲۰۰۷



نگاره ۱: توزیع فصلی بارش ایستگاه همدیدی خوی (۱۹۷۶-۲۰۰۷)

مواد و روش‌ها

در این مقاله سعی شده در یک دوره آماری ۳۲ ساله وضعیت خشکسالی در ایستگاه خوی با استفاده از شاخص توزیع استاندارد تحلیل و نیز روند خشکسالی‌ها برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از زنجیره مارکوف پیش‌بینی شود. برای این کار ابتدا بعد از اخذ داده‌های بارش از سازمان هواشناسی کفایت و صحت آنها توسط آزمون نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه تحلیل‌های آماری از طریق نرم افزارهای EXCEL و SPSS بر روی داده‌های مذکور انجام شد.

توزیع فصلی بارش ایستگاه خوی نشان می‌دهد که فصل بهار ۴۳٪، فصل تابستان ۸٪، فصل پاییز ۲۳٪ و فصل زمستان ۲۶٪ بارش سالانه را شامل می‌شود. (نگاره ۱)

به منظور واکاوی بارش ماهانه مجموع میانگین دراز مدت، ضریب تغییرات و انحراف معیار هر ماه به تفکیک در جدول (۲) ارائه شده است. بیشترین بارش دریافتی مربوط به فروردین ماه با مقدار ۴۶/۱ میلی‌متر و کمترین آن مرداد ماه با ۵/۴ میلی‌متربارش می‌باشد. ضریب تغییرات بارش ماه‌های گرم به مراتب از سایر ماه‌ها بیشتر می‌باشد، که بیانگر اتفاقی و نامنظم بودن بارش این ماه‌ها است.

پایش خشکسالی با استفاده از نمایه‌ی بارش استاندار شده (SPI)

شاخص (SPI)، نمایه‌ای است که اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین آن برای یک بازه‌ی زمانی مشخص و سپس تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش بدست می‌آید. *(آسایی، ۱۳۸۵، ۳۲)* این روش به وسیله‌ی مک کی و همکارانش (۱۹۹۳) با توجه به بررسی تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخائر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شده است.

از نظر ریاضی، SPI بر مبنای احتمالات تجمعی بارش‌ها در یک ایستگاه استوار است. با توجه به خصوصیات SPI این نمایه در سراسر دنیا برای پایش دوره‌های خشکی مورد استفاده قرار گرفته است. SPI برای کمّی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی گوناگون طراحی شده است. *(آسایی، ۱۳۸۵، ۴۹)*

با توجه به این که آب‌های زیرزمینی و جریان آب‌های سطحی در ایجاد ناهنجاری‌های دراز مدت در بارش مؤثر می‌باشند، لذا شاخص SPI اساساً برای بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه محاسبه می‌شوند. جهت محاسبه‌ی این نمایه از تابع توزیع گاما برای برازش داده‌های بلند مدت بارش استفاده می‌شود که پس از انجام محاسبه‌های لازم و تعیین پارامترهای مربوطه، نمایه‌ی SPI به صورت زیر محاسبه می‌گردد. *(آسایی، ۱۳۸۵، ۵۲)*

(۱)

$$SPI = -\left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right] \qquad 0 < H(x) \le 0.5$$

$$SPI = +\left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right] \qquad 0.5 < H(x) \le 1$$

جدول ۲: ویژگی‌های آماری بارش ماهانه ایستگاه خوی (۲۰۰۷-۱۹۷۶)

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
میانگین	۴۶/۱	۵۵/۵	۲۴/۵	۸/۸	۵/۴	۹/۴	۲۲/۳	۲۷	۱۸	۲۰/۹	۱۸/۷	۳۵
ضریب تغییرات	۴۳	۴۶	۸۲	۱۲۰	۱۳۰	۱۰۲/۷	۹۲	۸۴	۸۱	۵۹	۵۶	۶۲
انحراف معیار	۲۰/۲	۲۵/۵	۲۰/۴	۱۱/۴	۶/۱	۹/۴	۲۰/۳	۲۲/۶	۱۵	۱۲/۴	۱۰/۳	۲۱/۷

که در آن

(۲)

$$t=\sqrt{in\left[\frac{1}{1+(x)^2}\right]} \qquad O<H(x)\leq 1$$

$$t=\sqrt{in\left[\frac{1}{1-(x)^2}\right]} \qquad 0.5<H(x)\leq 1$$

در این رابطه C_0، C_1، C_2، d_1، d_2 و d_3 مقادیر ثابت و H(x) احتمال تجمعی است.

$d_1 = 3.432788$ $C_0 = 2.535537$

$d_2 = 0.189269$ $C_1 = 0.802852$

$d_3 = 0.003208$ $C_2 = 0.030328$

برای طبقه‌بندی خشکسالی و ترسالی براساس شاخص SPI مطابق جدول شماره‌ی (۳) هرگاه مقادیر SPI به طور مداوم منفی باشند و مقدار آن به ۱- یا کمتر برسد، معرف وقوع خشکسالی است و مقادیر مثبت آن نشان دهنده‌ی خاتمه‌ی خشکسالی است. *(آسیایی، ۱۳۸۵، ۳۲)*

جدول ۳: طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص SPI

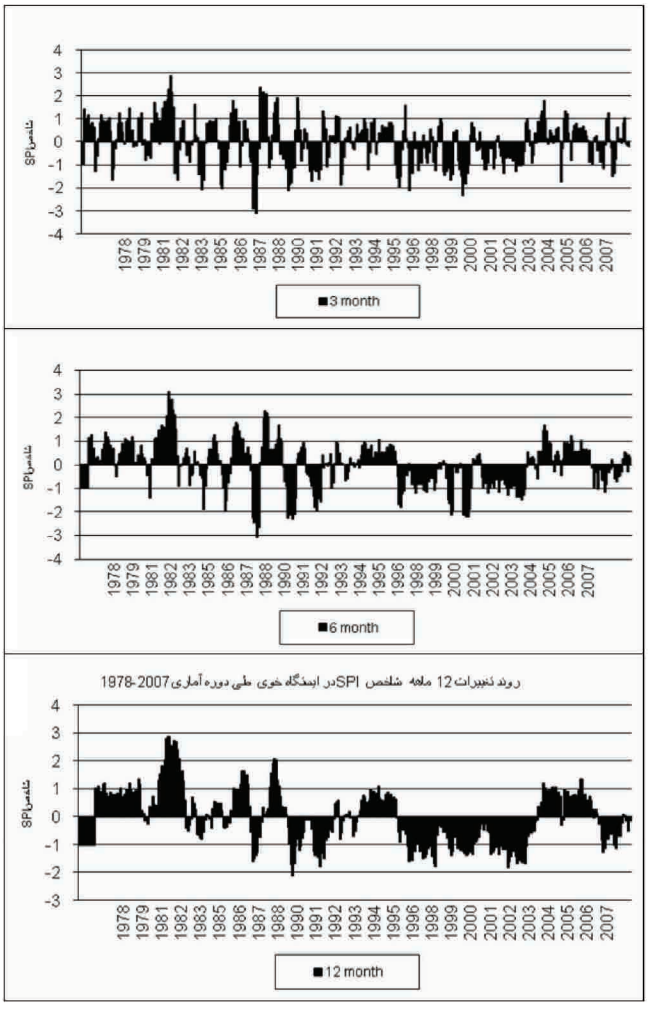
طبقه‌بندی	شاخص SPI
ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
تقریباً نرمال	۰/۹۹-۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	-۲ وکمتر

در ادامه برای محاسبه مقادیر SPI از نرم‌افزار مربوط استفاده گردید و میزان SPI ایستگاه خوی در مقیاس‌های زمانی ۶،۳ و ۱۲ ماهه محاسبه شد (نگاره ۲).

متوسط بارش سالانه ایستگاه خوی در طی دوره‌ی آماری ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۷ حدود ۲۸۰ میلی‌متر، باحداکثر ۵۲۶ میلی‌متر در سال ۱۹۸۲ و حداقل ۱۶۸ میلی‌متر در سال ۱۹۹۵ بوده است.

مطابق با (نگاره ۲)، شدیدترین خشکسالی ایستگاه خوی در سال ۱۹۹۵ با ضریب SPI بیش از ۱/۶- و در سال ۲۰۰۱ با ضریب SPI بیش از ۱/۴- بوده در حالی که بیشترین ترسالی آن در سال ۱۹۸۲ با ضریب SPI بیش از ۲/۸ رخ داده است.

با توجه به مقادیر SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه می‌توان به استمرار و توالی خشکسالی در نیمه دوم دهه ۱۹۹۰ پی برد و همان طورکه در (نگاره ۲) نیز دیده می‌شود در طی سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۵ شاهد خشکسالی‌های شدید با درجه‌های متفاوت در این ایستگاه می‌باشیم.



نگاره ۲: تغییرات نمایه بارش استاندارد شده دوره‌های ۶،۳ و ۱۲ ماهه در ایستگاه همدیدی خوی

پیش بینی خشکسالی با مدل زنجیره‌ی مارکف

زنـجیره مـارکوف یک روش ریـاضی بـرای مـدل بـندی فـرآیـندهای احتمالی است و مفهوم آن این است که یک زنجیره یا یک سری از مشاهدات مورد بررسی قرار گرفته و احتمال تغییر هر کدام از مشاهدات از حالتی بـه حالت دیگر مشخص می‌شود.

در این مدل احتمال وقوع یک پدیده در زمان t بستگی به وضعیت آن در زمان (t-۱) دارد یعنی احتمال خشک بودن یک ماه بستگی به شرایـط آن در ماه قبل دارد.

آنچه در این تحقیق مورد استفاده قـرار مـی‌گیرد مـاتریس‌های احـتمال انتقال برای بـیان وقـوع پـدیده خشکسـالی یـا تـرسالی است. زنـجیره‌های مـارکوف در هـیدرولوژی جـهت مـدلسازی فـرآیـندهایی چـون بـارش، جریان‌های رودخانه، رطوبت خاک و ذخیره آب در مخازن کاربرد فـراوان دارد. *(علیزاده؛ ۱۳۸۵)* اگر مجموعه‌ی حالات ممکن در یک زنجیره‌ی مارکف محدود باشد می‌توان ماتریس مربع P را تشکیل داد که عناصر آن P_{ij} عموماً معرف ماتریس احتمال گذار است.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1j} & \cdots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2j} & \cdots & P_{2m} \\ \vdots & & & & & \\ P_{i1} & P_{i2} & \cdots & P_{ij} & \cdots & P_{im} \\ \vdots & & & & & \\ P_{m1} & P_{m2} & \cdots & P_{mj} & \cdots & P_{mm} \end{bmatrix}$$

احتمال حـالت‌های آغـازین سـیستم در سـتون سـمت چپ و احـتمال حالت‌هایی که سیستم از آنها عبور می‌کند در طول سطرهای ماتریس نشـان داده شـده است *(مـیامی، ۱۳۶۴، ۲۷۸-۲۷۷)*. مـاتریس احـتمال گـذار دارای خواص زیر است:

الف) برای تمام عناصر ماتریس احتمال گذار داریم: $0 \le p_u \le 1 \quad \forall i,j$

ب) جمع احتمالات گذار از یک حالت به تـمام حـالت‌های مـمکن دوره‌ی زمانی بعدی باید برابر یک باشد،

یعنی $P^{(n)} = P^{(0)} P^{(n)}$ $\qquad \sum_{j=1}^{k} P_u = 1 \qquad (i = 1,2,...k)$

ج) اگر P ماتریس احتمال گذار یک زنجیره‌ی مارکف باشد، خواهیم داشت:

P^0 توزیع آغازین یا توزیع احتمالات اولیه و P^n ماتریس احتمال گذار n مرحله‌ای است.

د) در حالت ایستا ضرب بردار حالت در ماتریس گذار برابـر بـردار حـالت خواهد شد که به آن بردار تثبیتی مـنحصر بـه فـرد گـویند. (ارشـقی، ۱۳۶۷، ۲۲۸-۲۲۵)

$$\pi p = \pi \qquad \pi = (\pi_1, \pi_2, ... \pi_n)$$

در تحلیل زنجیره‌ی مارکف، فرض بر این است که مقدار بارش در یک سال معین فقط بستگی به مقدار بارشهای قبل دارد. باتوجه به وضعیت بارش ایستگاه خوی، بارش سالانه و فصلی به هفت طـبقه خـیلی خشک، خشک، نیمه خشک، نرمال، نیمه مرطوب، مرطوب و خیلی مـرطوب تـقسیم شـده است و آستانه‌های هر یک از این سه بخش بر پایه‌ی میانگین بارش ($\overline{P}$) و انحراف معیار (δ) تعیین گـردید. سـپس، یک مـاتریس ۷×۷ بـنام مـاتریس احتمال گذار تشکیل گردید که درایه‌های آن هر یک مربوط به احتمال تغییر وضعیت از حالتی به حالت دیگر است.

جدول شماره (۴) ماتریس احتمال منظم گذار زنجیره‌ی مارکف را برای بارش سالانه نشان می‌دهد، که از طریق بررسی‌های عینی و شمارش حالات متناظر معین شده است.

جدول ۴: ماتریس احتمال گذار بارش سالانه ایستگاه خوی.

۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۰۰۰	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
۰/۴۰۰	۰/۲۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۰۰	۰/۰۰۰
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰
۰/۰۰۰	۰/۵۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۰۰	۰/۰۰۰
۰/۲۸۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۸۵	۰/۱۴۲	۰/۲۸۵	۰/۰۰۰
۰/۰۰۰	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۳۳

برای محاسبه‌ی احتمالات حالت پایدار (دراز مـدت) بـارش، مـاتریس احتمال گذار را در عناصر یک بردار فرضی ضرب و برابر بردار فـوق قـرار می‌دهیم. بدین ترتیب عناصر بردار فرضی پیش گفته که آنها را بردار منحصر به فرد تثبیتی می‌نامند مشخص گردید. نتایج در جدول شـماره‌ی (۵) ارائـه شده است.

از جدول (۵) استنباط می‌شود که در دراز مدت احـتمال خشکسـالی‌ها (یعنی مجموع احتمالات مربوط به خیلی خشک، خشک و نیمه خشک) ۴۳ درصد و احتمال وقوع ترسالی‌ها (یعنی مجموع احتمالات مربوط بـه نـیمه مرطوب، مرطوب و خیلی مرطوب) ۴۲/۷ درصد می‌باشد و در بقیه مواقع یعنی در ۱۴/۳ درصد اوقات شرایط متوسط بـارش حـاکـم است. هـمچنین می‌توان دریافت که شرایط بارش در دراز مدت بیشتر به صورت نیمه خشک بااحتمال (۰/۲۹) می‌باشد که روند غالب بارش ایستگاه است.

با روش مشابه آنچه در مورد بارندگی سالانه ذکر شد، بردارهای منحصر به فرد تثبیتی بـارش‌های فـصول زمسـتان، بـهار و پـاییز بـه کـمک زنـجیره مارکوف و به تفکیک درایه‌های هفت گانه پیش گفته محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۶) آمده است.

از جدول (۶) مـی‌توان نـتیجه گـرفت کـه در دراز مـدت احـتمال وقـوع خشکسالی‌ها در فصل زمستان، بهار و پاییز به ترتیب ۴۱/۸، ۳۰/۵ و ۵۷/۳ و احـتمال وقـوع تـرسالی‌ها در ایـن فـصول بـه تـرتیب ۳۵/۲، ۴۲/۹ و ۳۱/۴ می‌باشد.

به این ترتیب در ۲۳، ۲۷/۶ و ۱۱/۳ درصد از فصول سـه گـانه یـاد شـده شرایط بارش متوسط حکمفرما بوده است.

جدول ۵: احتمالات وضعیت‌های مختلف مقادیر بارش سالانه ایستگاه خوی در دراز مدت

وضعیت مقداربارندگی	خیلی خشک	خشک	نیمه خشک	متوسط	نیمه مرطوب	مرطوب	خیلی مرطوب
احتمال	۰/۰۸	۰/۰۶۳۰	۰/۲۹۰	۰/۱۴۳	۰/۰۷۵	۰/۱۹۵	۰/۱۵۷۵

جدول ۶: احتمالات وضعیت‌های مختلف بارش فصلی ایستگاه خوی به کمک زنجیره مارکوف

وضعیت مقداربارندگی	خیلی خشک	خشک	نیمه خشک	متوسط	نیمه مرطوب	مرطوب	خیلی مرطوب
احتمال در فصل زمستان	۰/۱۲۰	۰/۱۲۵	۰/۱۹۲	۰/۲۳۰	۰/۱۲۵	۰/۰۹۴	۰/۱۱۳
احتمال در فصل بهار	۰/۰۳۰	۰/۱۳۲	۰/۱۷۳	۰/۲۴۶	۰/۲۱۲	۰/۱۱۴	۰/۰۹۳
احتمال در فصل پاییز	۰/۱۳۵	۰/۱۲۳	۰/۳۱۵	۰/۱۱۳	۰/۰۶۵	۰/۱۴۶	۰/۱۰۳

جدول ۷: احتمالات وضعیت‌های مختلف مقادیر بارش سالانه ایستگاه خوی برای سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷

وضعیت مقداربارندگی	خیلی خشک	خشک	نیمه خشک	متوسط	نیمه مرطوب	مرطوب	خیلی مرطوب
سال ۲۰۰۶	۰/۱۷۰	۰/۱۸۲	۰/۲۴۰	۰/۱۰۰	۰/۰۸۸	۰/۱۶۰	۰/۰۶۰
سال ۲۰۰۷	۰/۱۶۲	۰/۱۷۹	۰/۲۳۷	۰/۱۱۰	۰/۰۹۰	۰/۱۶۷	۰/۰۶۵

برای آزمون میزان دقت زنجیره مارکوف سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و مانند روش گفته شده در بالا احتمال منظم گذار زنجیره‌ی مارکف برای بارش سالانه در دوره ۲۹ ساله (۲۰۰۵-۱۹۷۷) تشکیل و سپس نوع رژیم بارشی برای آن دو سال پیش بینی گردید که نتایج آن در جدول (۷) آمده است.

میزان بارش رخ داده در ایستگاه خوی در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ به ترتیب ۲۴۱ و ۲۵۵ میلی‌متر بوده است که با توجه به میزان بارش رخ داده در این دو سال می‌توان دریافت که رژیم بارشی حاکم بر ایستگاه، رژیم بارشی نیمه خشک بوده است.

نتایج حاصل از جدول (۷) نیز تا حدودی این وضعیت را نشان می‌دهد چون براساس پیش بینی زنجیره مارکوف نیز احتمال رخداد شرایط بارشی نیمه خشک در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ بیشتر از بقیه رخدادها و به ترتیب ۲۴ و ۲۳/۷ درصد می‌باشد.

نتیجه گیری

با توجه به این که اثرات خشکسالی غالباً در درازمدت سبب خسارات فراوان می‌شود لذا شروع و خاتمه آن همانند سیل، زلزله و توفان‌های شدید نیست. از این رو با مطالعه و برنامه ریزی‌های دقیق می‌توان میزان احتمال رخداد خشکسالی را برای سال‌های آینده پیش بینی کرد.

در این پژوهش برای ارزیابی شدت و دوره زمانی خشکسالی در منطقه خوی از شاخص بارش استاندارد (SPI) برای دوره‌های ۶،۳،۱ و ۱۲ ماهه استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل داده‌های بارش و شاخص SPI در ایستگاه خوی در طی دوره‌ی آماری ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۷ نشان داد که متوسط بارش سالانه ۲۸۰ میلی‌متر، با حداکثر ۵۲۶ میلی‌متر در سال ۱۹۸۲ و حداقل ۱۶۸ میلی‌متر در سال ۱۹۹۵ بوده است.

شدیدترین خشکسالی ایستگاه خوی در سال ۱۹۹۵ با ضریب SPI بیش از ۱/۶- و در سال ۲۰۰۱ با ضریب SPI بیش از ۱/۴- بوده در حالی که بیشترین ترسالی آن در سال ۱۹۸۲ با ضریب SPI بیش از ۲/۸ رخ داده است. از نکات قابل توجه استمرار و توالی خشکسالی‌ها و نیز وقوع خشکسالی‌های شدید در طی سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۵ در این ایستگاه می‌باشد.

با توجه به این که مطالعه، شناسایی و پیش بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها، جهت جلوگیری از بروز خسارات و برنامه ریزی مناسب امری ضروری به نظر می‌رسد، در ادامه برای پیش بینی رژیم بارش ایستگاه خوی در درازمدت از مدل زنجیره مارکوف استفاده گردید و نتایج بدست آمده از این مدل نشان داد که در دراز مدت احتمال خشکسالی‌ها در ایستگاه خوی ۴۱ درصد و احتمال وقوع ترسالی‌ها ۴۴/۷ درصد می‌باشد و در بقیه مواقع یعنی در ۱۴/۳ درصد اوقات شرایط متوسط بارش حاکم است. همچنین به همین روش مشابه احتمال وقوع خشکسالی‌ها در درازمدت در فصل زمستان، بهار و پاییز به ترتیب ۴۱/۸، ۳۰/۵ و ۵۷/۳ و احتمال وقوع ترسالی‌ها در این فصول به ترتیب ۳۵/۲، ۴۲/۹ و ۳۱/۴ برآورد گردید که می‌توان به این نتیجه رسید که احتمال وقوع خشکسالی در ایستگاه خوی در فصل بهار کمتر از فصل پاییز است.

در پایان برای آزمون میزان دقت مدل زنجیره ماکوف، سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و وضعیت رژیم بارشی برای این دو سال پیش بینی گردید.

منابع و مآخذ

۱- آسیایی، مهدی (۱۳۸۵)، شاخص‌های خشکسالی، انتشارات سخن‌گستر، چاپ اول.

۲- ارشقی، ع، (۱۳۶۷) تئوری و مسائل احتمالات، ترجمه، انتشارات نی، صص ۲۲۸-۲۲۵.

۳-بداق جمالی، جواد و همکاران، (۱۳۸۴)، مدیریت ریسک خشکسالی، چاپ اول، انتشارات سخن گستر.
۴-جعفری، خ، (۱۳۷۸)، تحلیل آماری دوره‌های تر و خشک بارندگی در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از زنجیره مارکوف، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۵-خوش اخلاق، فرامرز، (۱۳۷۷) تحقیق در خشکسالی های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل های سینوپتیکی، پایان نامه‌ی دکتری جغرافیای طبیعی، دانشکده‌ی علوم انسانی، دانشگاه تبریز.
۶-رفیعی، طیب (۱۳۸۶)، بررسی الگوی زمانی مکانی خشکسالی های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان، مجله علمی کشاورزی، جلد ۳، شماره ۱۰.
۷-رضیئی ط و ثقفیان، ب و شکوهی، ع.ر، (۱۳۸۲)، پیش بینی شدت تداوم فراوانی خشکسالی با استفاده از روش های احتمالاتی و سری های زمانی (مطالعه‌ی موردی استان سیستان و بلوچستان)، مجله‌ی بیابان، جلد ۸، شماره‌ی ۲، صص ۳۱۰-۲۹۲.
۸-شاه محمدی و دیگران، (۱۳۸۰)، تعیین خشکسالی ها و ترسالی ها بر اساس آمار بلند مدت بارندگی های سالانه‌ی ایران، سی دی مقالات همایش بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب زابل، صص ۷۰-۶۳.
۹-عزیزی، قاسم و روشن، علی اصغر، (۱۳۸۱)، بررسی خشکسالی ها - ترسالی ها و امکان پیش بینی آن ها با استفاده از مدل سری زمانی هالت - وینترز در استان هرمزگان، پایگاه اطلاعات علمی SID.
۱۰-علیزاده، امین، (۱۳۸۵) اصول هیدرولوژی کاربری، انتشارات استان قدس رضوی، چاپ نوزدهم.
۱۱-قویدل رحیمی، یوسف و خورشید دوست، علی، (۱۳۸۴) مطالعه نوسانات بارش و تعیین و پیش بینی فصول مرطوب و خشک بهاره در ایستگاههای آذربایجان شرقی، فضای جغرافیایی (۱۳) صص ۲۵-۴۸.
۱۲-مؤمنی، منصور، (۱۳۷۴)، پژوهش عملیاتی (مدل های احتمالی)، چاپ دوم، انتشارات سمت، صص ۱۳۷.
13- Azzam, S,A. Azzm,and M. Nielsen, 1990. Markov Chains as Shortcut Method to estimate age distributions in herds of beff Cattle.J.Anim.Sci.,(68):5-14.
14-Dalezios,N,R., Z.G.Papazafiriou, D.M.Papamichail&T.S. Karakostas,1991, Drought Assessment for the Potential of Precipitation Enhancement in northern Greece. Theoret.Appl. Climatol.44,75-88.
15- Eifeki,A., and G.Uffrink, 1996. Stochastic Simulation of heterogeneous geological formations using Soft info. Ground water Quality, Remediation and Protection- Proceeding of an International Conference, Czech Republic 15-18 may.
16-Hayes.M.J.Svoboda,M.D.,Wilhite,D.A.And Vanyarkho,O.V.1999.Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index, Bulletion of the American Meteorologica Society,80(3):429-437.
17- Loyd-Haghes,B, and Saunders,M.2002.A.Drought Climatology for Europe, international Journal of Climatology, 22:1571-1592.
18- Mckee, T,B,Doesken,N,J, and kleist,I,1993.the Relationship of Drought Frequency and Duration to time Scales. PREPRINTS, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22. January,Anaheim, CA,179-184.
19- Subramaniam, A.and P.Sanjeeva,1986. Dry Spell Sequences in South Coastal Andhra. Mausam, (40):57-60.

پی نوشت

1- Dalezios.
2- Hayes et al.
3- Loyd- Haghes.
4- Saunders.
5- Mckee et al.
6- Subramaniam.
7- Sanjeeva.
8- Azzam.
9- Elfeki
10- Uffrink