

پایش و پیش‌بینی خشکسالی استان خوزستان با استفاده از شاخص خشکسالی SPI و زنجیره مارکوف

سعید شکری کوچک^{۱*} و عبدالکریم بهنیا^۲

*- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز Saeed.shokri.88@gmail.com
۲- استاد دانشکده علوم آب، دانشگاه آزاد واحد شوشتر

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۹

چکیده

در مقاله حاضر با استفاده از سری‌های زمانی حاصل از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و زنجیره مارکوف، پایش، پیش‌بینی و گسترش خشکسالی در سطح استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که در تمامی ایستگاه‌ها وضعیت تقریباً نرمال بر اساس شاخص SPI با مقیاس زمانی شش ماهه، بیشترین فراوانی را دارا می‌باشد و بین ۳۳ الی ۴۲ درصد حالات را به خود اختصاص می‌دهد، احتمال گذر از یک حالت معین به همان حالت در زمان‌های متوالی بسیار بالا است و در عوض احتمال گذر از حالت خشک به تر و یا برعکس بسیار پایین می‌باشد. به طور میانگین احتمال تعادل دوره‌های خشک، نرمال و تر در ایستگاه‌های منطقه به ترتیب ۳۰/۸، ۳۶/۵ و ۳۲/۷ درصد بود. میانگین تداوم دوره خشکسالی پیش‌بینی شده در مقیاس زمانی شش ماهه از حداقل سه ماه در ایستگاه پای پل تا حداکثر ۴/۶ ماه در ایستگاه سد شهدای بهبهان در نوسان بود. پیش‌بینی می‌شود به طور متوسط کل استان در ۱۰ سال آینده ۳۵/۵ ماه درگیر خشکسالی خواهد شد.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، پهنه‌بندی، پایش، زنجیره مارکوف، استان خوزستان.

Monitoring and Prediction of Khuzestan Province, Iran Drought Using SPI drought Index and Markov Chain

S. Shokri Koochak¹ and A. Behnia²

1- M.A. Student, Dep. of Water Resource Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

2- Professor, Islamic Azad University, Shoushtar Branch

Received: 30.May.2011

Accepted: 14.May.2013

Abstract

In the present study, monitoring, prediction and zoning of drought in Khuzestan province were investigated using time series provided by Standard Precipitation Index (SPI) and Markov Chain. The obtained results showed that in all stations, based on the SPI index and during a six-month period, the almost normal condition has the highest frequency and is existent in between 33 to 42 percent of all cases. Probability of passing from a specific condition to the same condition in sequential periods is extremely high, and in turn, the probability of passing from the dry condition to wet condition and the other way around is quite low. In average, the possibility of reaching a balance between dry, normal and wet periods in stations of the region are 30.8, 36.5 and 32.7 percent respectively. The average continuity of drought periods predicted on a 6-month scale varied from a minimum of 3 months in Paye- pole station to a maximum of 4.6 months in Shohadaye-Behbahan Dam station. It is predicted that in the next ten years, Khuzestan province will be dealing with 35.5 months of drought.

Keywords: Drought, Monitoring, Markov Chain, Khuzestan province.

مقدمه

بلائیای طبیعی نظیر سیل، رعد و برق، خشکسالی^۱ و غیره بخشی از محیط اطراف ما را تشکیل می‌دهند. این بلاها همواره بر زندگی انسان‌ها تأثیر منفی داشته و در بیشتر موارد آسیب‌های جبران ناپذیری را در پی دارند. بر اساس بررسی‌های انجام شده، امروزه تعداد و موارد وقوع این حوادث نسبت به ۳۰ سال گذشته افزایش یافته است. حدود ۲۵ درصد از آنها رخدادهایی می‌باشند که به نحوی با عوامل جوی مرتبط هستند. در میان این پدیده‌ها خشکسالی یکی از مهمترین و شاید تأثیر گذارترین آنها باشد، چرا که گستردگی آن در برخی از موارد مرز قاره‌ها را نیز درنوردیده است (۱۶).

خشکسالی هواشناسی یا آب و هوایی اساساً ناشی از کمبود بارندگی می‌باشد که در صورت تداوم منجر به خشکسالی هیدرولوژی و کشاورزی می‌گردد (۴). چنانچه کشاورزی پایدار نتواند در برابر این پدیده مقاومت کند قحطی به وجود خواهد آمد. بارش عمده‌ترین پارامتری است که در تعریف خشکسالی به کار می‌رود و کمبود یا فقدان آن آستانه رخداد خشکسالی است (۴).

منظور از پایش یک وضعیت آب و هوایی در یک منطقه، بررسی آن وضعیت در سری زمانی آمار موجود در آن منطقه می‌باشد (۷). اقدامات اولیه پایش خشکسالی بیشتر با تحلیل فراوانی منطقه‌ای خشکسالی در مقیاس کوچک آغاز شد (۲۵)، سپس توسط سایر محققین دنبال گردید (۱۵، ۱۹ و ۱۲). در دهه‌های گذشته معمولاً تحلیل خشکسالی به صورت توصیفی انجام می‌گرفت و کمتر به تحلیل کمی پرداخته می‌شد (۱۴).

اصولاً برای تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص جهت تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (۲۱).

یکی از شاخص‌های مهم مورد استفاده در مطالعات خشکسالی شاخص استاندارد بارش می‌باشد که در این مطالعه جهت پهنه‌بندی و پیش‌بینی خشکسالی در استان خوزستان استفاده شده است. مک کی و همکاران^۲ (۱۸) برای اولین بار شاخص SPI را در ایالت کلرادو آمریکا به کار بردند و دریافتند که برای برازش داده‌های بارندگی، توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع می‌باشد. سلطانی و سعادت پهنه‌بندی خشکسالی در استان اصفهان را با استفاده از شاخص استاندارد بارش انجام دادند (۶). انصافی مقدم چند شاخص خشکسالی را در حوضه دریاچه نمک مورد ارزیابی قرار داد و شاخص SPI را مناسبترین شاخص معرفی کرد (۱). لشنی زند به بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌های اقلیمی توسط شاخص SPI در شش حوضه غرب و جنوب غرب ایران پرداخت

و در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی ماهانه خشکسالی برای یک دوره سی ساله را به دست آورد (۹).

پیش‌بینی خشکسالی به عنوان یکی از راهبردهای مقابله با این رخداد طبیعی و کاهش اثرات مخرب آن امری است که در سال‌های اخیر توجه کارشناسان هواشناسی و کشاورزی را به خود جلب نموده است و فعالیت‌های گوناگونی جهت پایش و پیش‌بینی این پدیده توسط سازمان‌های مرتبط صورت پذیرفته است.

مدل‌های خود همبستگی و زنجیره مارکوف از جمله مدل‌های سری زمانی هستند که برای پیش‌بینی احتمالاتی بارندگی و رویدادهای خشکسالی به کار می‌روند. از مدل زنجیره مارکوف برای بیان و تعریف ویژگی‌های تصادفی فرآیندهای تصادفی (متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژی) استفاده می‌شود. از موارد استفاده از زنجیره مارکوف می‌توان به استفاده گابریل و نیومن^۳ از یک مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول برای تعیین روزهای خشک و تر با استفاده از داده‌های بارندگی روزانه که در منطقه‌ای در فلسطین اشغالی استفاده نمودند نام برد (۱۳). سرلک و همکاران^۴ به آنالیز خشکسالی‌های شدید در حوضه رودخانه گوکسو^۵ واقع در ترکیه پرداختند و جهت بررسی اثرات نوسانات اقیانوس اطلس شمالی (NOA) از مدل زنجیره مارکوف بهره جستند. نتایج این تحقیق نشان داد که سری NOA بر احتمال انتقال و پیش‌بینی دوره خشکسالی تأثیر دارد و قابل تعیین است (۲۰). تامسون^۶ از مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول و شاخص پالم جهت تعیین ماتریس احتمال انتقال و پهنه‌بندی احتمال وقوع وضعیت خشکسالی، ترسالی و نرمال در ایالات مرکزی آمریکا استفاده کرد (۲۳). زیلاجی و همکاران^۷ با استفاده از زنجیره مارکوف به تولید اطلاعات دبی روزانه بر روی رودخانه تیسزا^۸ واقع در اروپای شرقی پرداختند و بر توانایی مدل زنجیره مارکوف تأکید داشتند (۲۲). از مواردی که در داخل کشورمان از زنجیره مارکوف جهت پیش‌بینی خشکسالی استفاده شده است، می‌توان به تحقیقات رضی و همکاران، در استان سیستان و بلوچستان همچنین علیزاده و همکاران در خراسان رضوی و حقیقت جو و شاه محمدی حیدری جهت پیش‌بینی بده رودخانه هیرمند نام برد (۵، ۷، ۳).

3- Gabriel and Neumann
4- Sarlak et al
5- Goksu river
6- Thompson
7- Szilagyi et all
8- Tisza river

1- Drought
2- Mckee et all

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه کل استان خوزستان با مساحت $63633/6$ کیلومتر مربع که بین 29° درجه و $57'$ دقیقه تا 33° درجه و $33'$ دقیقه عرض شمالی و 47° درجه و $40'$ دقیقه تا 50° درجه و $33'$ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ در جنوب غربی ایران قرار دارد (۲). شکل (۱) منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. وجود پنج رودخانه پر آب (کارون، دز، کرخه، هندیجان و جراحی) در این استان و جاری شدن بیش از یک سوم آب‌های جاری کشور در آن، از نظر منابع آب و انرژی برق آبی آن را حائز اهمیت قرار داده است و از طرف دیگر وجود صنایع بالادستی و پایین دستی صنعت نفت و همچنین صنایع آب بر همچون فولاد و زمین‌های کشاورزی وسیع و تولید محصولات استراتژیک مختلف در فصول مختلف و ایجاد شرکت‌های کشت و صنعت همچون صنایع نیشکر اهمیت آن را دو چندان نموده است.

روش تحقیق

در این تحقیق اطلاعات بارش ماهانه ایستگاه‌های مبناء وزارت نیرو در کل استان خوزستان از بدو تاسیس^۱ تا پایان سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ جمع آوری گردید، برای همگن بودن داده‌ها از آزمون ران تست استفاده شد و با روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها (۸) و ترسیم خطوط همباران توسط نرم افزار Surfer8 اطلاعات تکمیل و تطویل گردید، سپس یک پایه مشترک زمانی $49-1348$ تا $88-1387$ در نظر گرفته شد. از بین ایستگاه‌های بارانسنجی ۱۵ ایستگاه مبناء انتخاب گردید و سپس با استفاده شاخص استاندارد بارش و زنجیره مارکوف به پایش خشکسالی و پیش‌بینی آن در ده سال آینده اقدام گردید.

شاخص استاندارد بارش

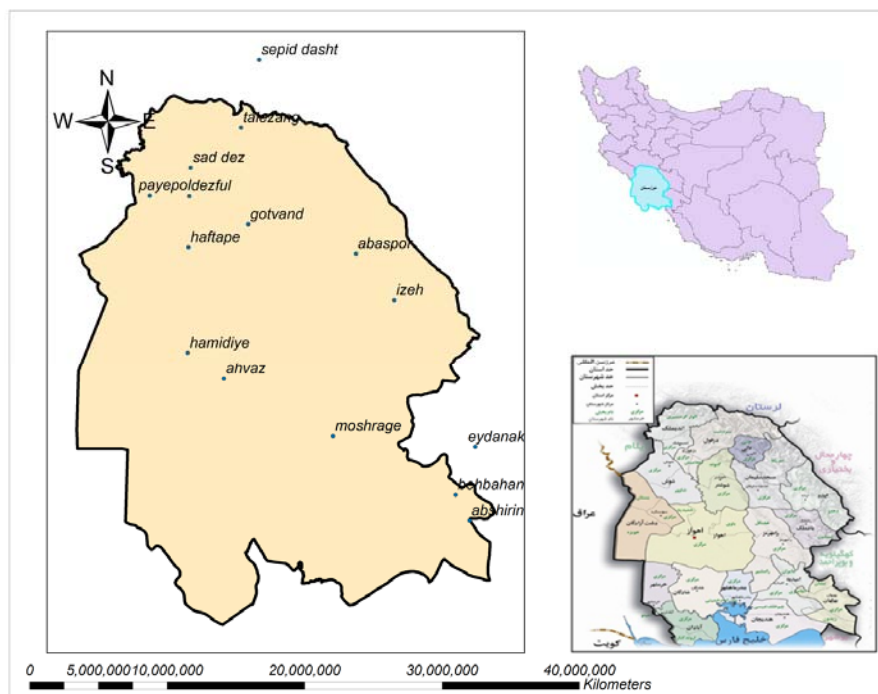
یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه‌ی خشکسالی، شاخص استاندارد بارش^۲ می‌باشد که محاسبه آن نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار دراز مدت مقادیر بارندگی در دوره‌های مورد مطالعه است (۱۱). این شاخص اساساً برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است (۲۴) و به تحلیل‌گر امکان می‌دهد تا تعداد وقایع خشکسالی و ترسالی اتفاق افتاده را برای هر گام زمانی دلخواه تعریف و شناسایی نماید (۱۸). از آنجا که این شاخص بی بعد می‌باشد، می‌توان به کمک آن اطلاعات مناطق مختلف را با هم مقایسه و نقشه‌های گستره خشکسالی را با دقت بیشتری تولید نمود (۱۰) از جمله مزایای دیگر این شاخص آن است که می‌توان خشکسالی‌های شدید و

ترسالی‌های شدید منطقه را شناسایی و با برازش تابع چگالی احتمال، تحلیل فراوانی بر روی آن انجام داد (۱۷). در این شاخص ابتدا مقادیر بارندگی ماهانه هر ایستگاه برای هر یک از مقیاس‌های زمانی مورد نظر (۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ...) محاسبه می‌گردد، مثلاً در مقیاس سه ماهه جمع هر یک از بارندگی‌های ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد به عنوان شاخص بارندگی در ماه خرداد منظور می‌شود، به همین ترتیب مجموع بارندگی‌های اردیبهشت، خرداد و تیر به عنوان شاخص ماه تیر و الی آخر. بدین ترتیب یک سری زمانی بارندگی در طول دوره آماری هر ایستگاه به دست می‌آید که مقادیر بارندگی هر ماه در حقیقت مجموع بارندگی هر ماه و دو ماه قبل از آن می‌باشد. در مقیاس شش ماهه نیز مجموع بارندگی هر ماه و پنج ماه قبل از آن نیز به عنوان شاخص بارندگی هر ماه منظور می‌شود و برای سایر مقیاس‌ها نیز به طور مشابه سری زمانی بارندگی‌های تجمعی برای هر ماه محاسبه می‌شود. بنابراین به عنوان نمونه منظور از مقیاس زمانی شش ماهه دوره خاص شش ماهه در سال (شش ماه اول یا دوم) نیست بلکه تمام بازه‌های شش ماهه در کل دوره مورد بررسی را شامل می‌شود. سپس مقادیر بارندگی‌های تجمعی در هر ماه با توزیع احتمال گاما برازش داده می‌شود. بعد از محاسبه احتمال تجمعی گاما در هر مقیاس زمانی و برای هر ماه از سال، این احتمال به یک متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z تبدیل می‌گردد که این متغیر تصادفی در حقیقت همان مقدار SPI مورد نظر می‌باشد. طبقه‌بندی درجات خشکسالی و ترسالی با استفاده از این شاخص به صورت جدول (۱) که لشنی زند و همکاران برای غرب و شمال غرب کشور پیشنهاد کرده‌اند، می‌باشد (۹).

پیش‌بینی خشکسالی

مدل زنجیره مارکوف یک روش ریاضی جهت مدل‌سازی پدیده‌های تصادفی می‌باشد که توالی مشاهدات را در طول زمان نشان می‌دهد. وابستگی این زنجیره به زمان یا از طریق ضرایب همبستگی و یا با استفاده ماتریس‌های احتمال انتقال بیان می‌شود. ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مربعی است که با توجه به تعداد حالت‌های آن، تعداد n ترکیب ممکن انتقال از حالتی به حالت دیگر را در بر می‌گیرد. در واقع این ماتریس بیانگر احتمال قرار گرفتن سیستم در یکی از حالت‌های ممکن در گام زمانی آینده می‌باشد. مدل زنجیره مارکوف بر اساس تعداد حالت‌ها و احتمال انتقال از حالت i به j (P_{ij}) شناخته می‌شود. مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول اصلی‌ترین شکل مدل زنجیره مارکوف با تعداد حالت‌های دو یا سه در بررسی‌های خشکسالی می‌باشد. زنجیره مارکوف مرتبه اول به فرآیندهایی می‌پردازد که در آنها هر واقعه تنها به واقعه مرحله قبل وابسته بوده و تأخیر زمانی آن به یک دوره قبل برمی‌گردد (۱۲ و ۲۶). بدین ترتیب اگر کل حالت‌های در نظر گرفته شده برای یک پارامتر محیطی خشکسالی (D)، نرمال (N)،

۱- ایستگاهها در سالهای مختلف تاسیس شده‌اند و ذکر سال تاسیس مقدر نمی‌باشد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مقیاس طبقه‌بندی برای مقادیر SPI در غرب و شمال غرب کشور

طبقه	مقادیر SPI
شدیداً مرطوب	> 2
خیلی مرطوب	$1/5$ تا $1/99$
مرطوب متوسط	1 تا $1/49$
مرطوب ملایم	$0/5$ تا $0/99$
تقریباً نرمال	$-0/49$ تا $0/49$
خشک ملایم	$-0/99$ تا $-0/5$
خشک متوسط	-1 تا $-1/49$
خیلی خشک	$-1/5$ تا $-1/99$
شدیداً خشک	< -2

اگر ماتریس احتمال انتقال را بی‌نهایت بار در خود ضرب شود ماتریسی حاصل می‌شود که مقادیر تمامی سطرهاى آن برابر می‌باشد. این ماتریس، ماتریس احتمال تعادل یا ماتریس ایستا گفته می‌شود. در واقع احتمال انتقال از همه حالت‌ها به یک حالت خاص است. به کمک این احتمالات تعادلی، وضعیت آبی را در دراز مدت پیش‌بینی می‌شود.

ترسالی (W) باشد احتمال وضعیت محیط در گام بعدی، برابر است با فراوانی نسبی تغییر وضعیت در حالت‌های مختلف در طی سال‌های آماری گذشته. این احتمال، احتمال انتقال نامیده شده و ماتریس حاصل از آن ماتریس احتمال انتقال می‌باشد. درجه همبستگی میان حالت‌ها را می‌توان به کمک این ماتریس نشان داد که مجموع آرایه‌های هر سطر آن باید معادل یک گردد.

جدول ۲- درصد فراوانی یا حساسیت به خشکسالی بر اساس شاخص SPI با مقیاس زمانی شش ماهه در ایستگاه‌های مبنای وزارت نیرو در استان خوزستان

ردیف	ایستگاه	شدیداً خشک	خیلی خشک	خشک متوسط	خشک	تقریباً نرمال	مرطوب ملایم	مرطوب متوسط	خیلی مرطوب	شدیداً مرطوب
۱	تله زنگ	۳/۷۹	۳/۷۹	۸/۶۳	۱۴/۹۵	۳۷/۰۵	۱۳/۸۹	۱۱/۷۹	۴/۰۰	۲/۱۱
۲	سد دز	۲/۷۴	۶/۵۳	۹/۰۵	۱۲/۴۲	۳۴/۵۳	۱۷/۸۹	۱۱/۷۹	۲/۹۵	۲/۱۱
۳	سد تنظیمی دزفول	۴/۶۳	۴/۶۳	۱۰/۳۲	۱۲/۶۳	۳۶/۰۰	۱۳/۲۶	۱۲/۰۰	۴/۶۳	۱/۸۹
۴	سپید دشت	۳/۷۹	۵/۸۹	۸/۶۳	۱۰/۹۵	۳۸/۵۳	۱۶/۰۰	۹/۲۶	۵/۲۶	۱/۶۸
۵	ایذه	۳/۵۸	۵/۰۵	۹/۸۹	۱۱/۳۷	۳۴/۹۵	۶۸/۱۷	۱۰/۳۲	۵/۶۸	۱/۴۷
۶	هفت تپه	۴/۶۳	۳/۵۸	۱۲/۸۴	۱۱/۵۸	۳۵/۷۹	۱۵/۷۹	۱۰/۱۱	۳/۷۹	۱/۸۹
۷	گنوند	۱/۴۷	۵/۰۵	۱۱/۱۶	۱۳/۶۸	۳۴/۳۲	۱۷/۶۸	۹/۸۹	۴/۸۴	۱/۸۹
۸	اهواز	۳/۵۸	۳/۷۹	۶/۹۵	۱۶/۴۲	۳۶/۶۳	۱۶/۶۳	۱۰/۵۳	۳/۵۸	۱/۸۹
۹	سد شهید عباس پور	۴/۶۳	۳/۷۹	۸/۸۴	۱۴/۹۵	۳۵/۱۶	۱۶/۰۰	۱۱/۳۷	۳/۷۹	۱/۴۷
۱۰	پای پل	۴/۸۴	۴/۸۴	۷/۷۹	۱۲/۸۴	۳۷/۶۸	۱۳/۴۷	۱۱/۵۸	۵/۴۷	۱/۴۷
۱۱	حمیدیه	۲/۳۲	۵/۰۵	۱۰/۹۵	۱۱/۱۶	۳۸/۱۱	۱۵/۳۷	۱۱/۵۸	۳/۱۶	۲/۳۲
۱۲	مشراگه	۱/۴۷	۴/۰۰	۸/۰۰	۱۵/۷۹	۴۲/۱۱	۱۴/۱۱	۸/۸۴	۲/۹۵	۲/۷۴
۱۳	ایدانک	۴/۰۰	۶/۷۴	۷/۱۶	۱۳/۰۵	۳۷/۲۶	۱۴/۹۵	۱۰/۱۱	۵/۰۵	۱/۶۸
۱۴	سد شهدای بهبهان	۲/۹۵	۵/۲۶	۱۳/۰۵	۱۰/۳۲	۳۳/۲۶	۱۸/۹۵	۱۰/۷۴	۴/۶۳	۰/۸۴
۱۵	آب شیرین	۴/۲۱	۵/۲۶	۱۰/۳۲	۱۴/۱۱	۳۳/۶۸	۱۵/۵۸	۱۰/۷۴	۵/۰۵	۱/۰۵

اگر پیش‌بینی، مدت دوام خشکسالی به طور متوسط در آینده مد نظر باشد، کافی است که احتمال تعادل حالت خشک بر احتمال رویداد دوره خشک حاصل از رابطه (۲) تقسیم شود (۷):

$$E(t) = \frac{P_D}{P_D} \quad (3)$$

نتایج دیگری نیز از ماتریس‌های احتمال انتقال و ماتریس احتمال ایستا قابل برداشت است که می‌توان از آن جمله به موارد زیر اشاره کرد:

(۱) قطر ماتریس احتمال انتقال نشان دهنده پایداری شرایط محیطی است.

(۲) هرکدام از آرایه‌های ماتریس ایستا معرف درصد دوره‌هایی است که منطقه در دراز مدت در آن حالت باقی می‌ماند.

نتایج و بحث

با توجه به آنچه در بخش مواد و روش‌ها ذکر شد، مبادرت به پایش خشکسالی بر اساس شاخص SPI با مقیاس زمانی

امید ریاضی یک واقعه مثلاً خشکسالی ($E(D)$) تعداد متوسط خشکسالی مورد انتظار در دوره شبیه‌سازی می‌باشد و برابر است با حاصل ضرب احتمال رخداد خشکسالی (P_D) در طول دوره شبیه‌سازی (t): (۷):

$$E(D) = P_D \times t \quad (1)$$

P_D مورد استفاده در رابطه (۱) عبارتست از احتمال رفتن از حالت‌های غیر از خشکی به خشکی. بر این اساس اگر به عنوان مثال حالت‌های مطالعه D ، N و W و احتمال ایستای آنها $P_{D,D}^*$ ، $P_{N,D}^*$ و $P_{W,D}^*$ و احتمال رفتن از حالت W به حالت D و نیز از حالت N به D در ماتریس احتمال انتقال به ترتیب $P_{W,D}$ و $P_{N,D}$ باشند، خواهیم داشت (۷):

$$P_D = P_{N,D}^* \times P_{N,D} + P_{W,D}^* \times P_{W,D} \quad (2)$$

جدول ۳- ماتریس احتمال انتقال ۱۵ ایستگاه مبنا استان خوزستان

W	N	D	تله زنگ	W	N	D	سد شهید عباس پور
۰/۰۳۴	۰/۲۱۱	۰/۷۵۵	D	۰/۰۲۰	۰/۲۰۹	۰/۷۷۱	D
۰/۲۶۷	۰/۵۷۴	۰/۱۵۹	N	۰/۲۵۲	۰/۵۶۴	۰/۱۸۴	N
۰/۶۵۵	۰/۲۸۵	۰/۰۶۰	W	۰/۷۱۵	۰/۲۶۰	۰/۰۲۵	W
W	N	D	سد دز	W	N	D	پای پل
۰/۰۴۸	۰/۲۴۷	۰/۷۰۵	D	۰/۰۳۵	۰/۲۹۹	۰/۶۶۶	D
۰/۲۵۶	۰/۵۳۷	۰/۲۰۷	N	۰/۲۱۷	۰/۵۵۴	۰/۲۲۹	N
۰/۷۱۳	۰/۲۳۲	۰/۰۵۵	W	۰/۷۲۲	۰/۲۲۶	۰/۰۵۲	W
W	N	D	سد تنظیمی دزفول	W	N	D	حمیدیه
۰/۰۲۰	۰/۲۸۳	۰/۶۹۷	D	۰/۰۲۱	۰/۲۸۶	۰/۶۹۳	D
۰/۲۶۰	۰/۵۰۹	۰/۲۳۱	N	۰/۱۸۹	۰/۶۰۵	۰/۲۰۶	N
۰/۶۹۳	۰/۲۳۵	۰/۰۷۲	W	۰/۷۳۴	۰/۲۳۴	۰/۰۳۲	W
W	N	D	سپید دشت	W	N	D	مشراگه
۰/۰۲۹	۰/۲۲۳	۰/۷۴۸	D	۰/۰۵۸	۰/۲۶۶	۰/۶۷۶	D
۰/۲۰۹	۰/۶۲۶	۰/۱۶۵	N	۰/۱۷۶	۰/۶۳۳	۰/۱۹۱	N
۰/۷۳۲	۰/۲۴۲	۰/۰۲۶	W	۰/۶۸۴	۰/۲۶۵	۰/۰۵۱	W
W	N	D	ایذه	W	N	D	ایدانک
۰/۰۱۴	۰/۲۱۸	۰/۷۶۸	D	۰/۰۵۵	۰/۱۹۰	۰/۷۵۵	D
۰/۲۱۷	۰/۶۲۰	۰/۱۶۳	N	۰/۲۱۸	۰/۶۲۷	۰/۱۵۵	N
۰/۷۷۱	۰/۱۹۹	۰/۰۳۰	W	۰/۶۹۹	۰/۲۴۹	۰/۰۵۲	W
W	N	D	هفت تپه	W	N	D	سد شهدای بهبهان
۰/۰۵۹	۰/۲۲۷	۰/۷۱۴	D	۰/۰۵۳	۰/۱۶۶	۰/۷۸۱	D
۰/۲۴۳	۰/۵۵۰	۰/۲۰۷	N	۰/۲۳۱	۰/۶۲۲	۰/۱۴۷	N
۰/۶۶۲	۰/۲۷۸	۰/۰۶۰	W	۰/۷۴۲	۰/۲۱۰	۰/۰۴۸	W
W	N	D	گتوند	W	N	D	آب شیرین
۰/۰۴۷	۰/۲۳۵	۰/۷۱۸	D	۰/۰۶۸	۰/۲۱۶	۰/۷۱۶	D
۰/۲۵۸	۰/۵۴۶	۰/۱۹۶	N	۰/۲۴۴	۰/۵۷۰	۰/۱۸۶	N
۰/۷۰۴	۰/۲۴۱	۰/۰۵۵	W	۰/۶۳۶	۰/۲۷۸	۰/۰۸۶	W
W	N	D	اهواز	W	N	D	اهواز
۰/۰۳۴	۰/۲۷۲	۰/۶۹۴	D	۰/۰۳۴	۰/۲۷۲	۰/۶۹۴	D
۰/۲۳۰	۰/۵۴۶	۰/۲۲۴	N	۰/۲۳۰	۰/۵۴۶	۰/۲۲۴	N
۰/۷۰۶	۰/۲۵۵	۰/۰۳۹	W	۰/۷۰۶	۰/۲۵۵	۰/۰۳۹	W

ایستگاه‌ها بیشتر است. این موضوع به ویژه برای برنامه‌ریزی‌های منابع آب و کشاورزی دارای اهمیت می‌باشد. از این رو پیش‌بینی میانگین تداوم خشکسالی (تر سالی و نرمال) می‌تواند در این زمینه مفید و راه‌گشا باشد. جدول (۶) میانگین تداوم دوره‌های خشک، نرمال و تر را در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. براساس این جدول میانگین تداوم دوره خشکسالی پیش‌بینی شده در مقیاس زمانی شش ماهه از حداقل سه ماه در ایستگاه پای پل تا حداکثر ۴/۶ ماه در ایستگاه سد شهدای بهبهان در نوسان است. میانگین تداوم پیش‌بینی شده دوره‌های نرمال از ۲/۲ ماه در پنج ایستگاه سد دز، هفت تپه، گتوند، اهواز و پای پل تا ۲/۸ ماه در ایستگاه ایدانک در نوسان می‌باشد. میانگین تداوم پیش‌بینی شده برای دوره‌های تر نیز بین ۲/۷ ماه در ایستگاه آب شیرین تا ۴/۴ ماه در ایستگاه ایزه در حال تغییر است.

جدول (۷) تعداد و تداوم خشکسالی در ۱۰ سال آینده را پیش‌بینی می‌کند که ایستگاه سد تنظیمی دزفول با ۱۱/۸ دوره با تداوم ۳/۳ ماهه درگیر خشکسالی می‌شود، به این مفهوم که در دوره مزبور ۳۹ ماه با خشکسالی روبرو خواهد شد در بین سایر ایستگاه‌ها بیشترین مقدار از نظر خشکسالی در ۱۰ سال آینده می‌باشد. ایستگاه سپید دشت با ۳۲/۹ ماه در ۱۰ سال آینده کمترین مقدار از نظر خشکسالی در بین سایر ایستگاه‌ها را به خود اختصاص داده است. به طور متوسط کل استان در ۱۰ سال آینده ۳۵/۵ ماه درگیر خشکسالی خواهد شد. در این تحقیق توزیع مکانی احتمال ماندن در تله خشکسالی (P_{DD})، احتمال گذر از حالت خشک به حالت تر (P_{DW})، احتمال تعادل خشکسالی و تداوم خشکسالی قابل انتظار در دراز مدت برای مقیاس زمانی شش ماهه مورد بررسی قرار گرفت و نقشه‌های آن تولید گردید. شکل (۲) توزیع مکانی احتمال ماندن در تله خشکسالی در استان خوزستان بر اساس SPI شش ماهه را نشان می‌دهد. این نقشه احتمال ماندن در وضعیت خشکسالی در غرب و شمال غرب استان را کمتر نشان می‌دهد و از سمت غرب به شرق و جنوب شرق استان احتمال بیشتر می‌شود. شکل (۳) حاکی از توزیع مکانی گذر از حالت خشک به حالت تر در استان می‌باشد که نشان می‌دهد احتمال گذر از حالت خشک به حالت تر در کل استان کمتر از هفت درصد می‌باشد و روند این حالت نیز از نواحی شمال غرب استان به سمت جنوب شرق حالت افزایشی دارد. حوضه مارون و هندیجان شانس بیشتری از نظر گذر از حالت خشک به تر را دارا می‌باشد. شکل (۴) بیانگر آن است که احتمال ماندن در خشکسالی در نواحی شمالی و شمال غرب و شرق و جنوب شرق استان بیشتر از نواحی مرکزی به سمت جنوب غرب استان می‌باشد و این استان بیشتر از ۳۰ درصد اوقات در حالت خشک بسر می‌برد. شکل (۵)

شش ماهه^۱، و محاسبه ماتریس احتمال انتقال و ماتریس تعادل ایستگاه‌های منای وزارت نیرو در استان خوزستان گردید و نتایج آن به صورت جدول و نمودار ارائه شده است.

با توجه به جدول (۲) در تمامی ایستگاه‌ها وضعیت تقریباً نرمال بر اساس شاخص SPI با مقیاس زمانی شش ماهه، بیشترین فراوانی را دارا می‌باشد و بین ۳۳ الی ۴۲ درصد حالات را به خود اختصاص می‌دهد. در وضعیت شدیداً خشک ایستگاه پای پل بیشترین و ایستگاه‌های گتوند و مشراکه کمترین درصد فراوانی را داشته‌اند. در وضعیت خیلی خشک ایستگاه ایدانک بیشترین و ایستگاه هفت تپه کمترین درصد فراوانی را دارا می‌باشند و در مجموع ایستگاه آب شیرین با ۳۳/۹۰ درصد بیشترین و ایستگاه های سپید دشت و مشراکه با ۲۹/۲۶ درصد کمترین فراوانی نسبی را بین تمامی ایستگاه‌ها به خود اختصاص داده‌اند.

با توجه به جدول (۳) احتمال گذر از یک حالت معین به همان حالت بسیار بالا است و در عوض احتمال گذر از حالت خشک به تر و یا برعکس بسیار پایین می‌باشد. احتمال گذر از حالت خشک به خشک (P_{DD}) که اصطلاحاً از آن به عنوان تله خشکسالی یاد می‌شود و یا احتمال گذر از حالت تر به تر (P_{WW}) در همه ایستگاه‌ها تقریباً بین ۶۰ تا ۸۰ درصد و احتمال این که پس از یک ماه نرمال یک ماه خشک فرارسد (P_{ND})، بین ۱۶ تا ۲۳ درصد و احتمال این که پس از یک ماه تر یک خشکسالی فرارسد کمتر از ۸/۶ درصد می‌باشد. از جدول (۳) می‌توان به طور مشابه حالت‌های مختلف را بررسی کرد.

جدول (۴) در واقع بیانگر آن است که هر ایستگاه در دراز مدت به طور متوسط چند درصد از زمان را در یک حالت باقی خواهد ماند به عنوان مثال ایستگاه اهواز بر اساس SPI شش ماهه در دراز مدت به ترتیب ۳۰، ۳۶/۷ و ۳۲/۳ درصد از زمان را در حالت‌های خشک، نرمال و تر خواهد بود. این جدول نشان می‌دهد که به طور میانگین احتمال تعادل دوره‌های خشک، نرمال و تر در ایستگاه‌های منطقه به ترتیب ۳۰/۸، ۳۶/۵ و ۳۲/۷ درصد می‌باشد.

جدول (۵) بیانگر این مطلب است که در همه ایستگاه‌ها تعداد دوره‌های نرمال، بیشتر از دوره‌های تر و خشک و تعداد رویدادهای تر در بیشتر ایستگاه‌ها از رویدادهای خشک بیشتر می‌باشد. دوره‌های خشک، نرمال و تر در ایستگاه‌های منطقه دارای تداوم مختلف می‌باشند. برخی از این دوره‌ها کوتاه و برخی بلند مدت می‌باشند که آثار مهمی برجای می‌گذارند. با بررسی سری زمانی نمایه مورد بررسی می‌توان پی‌برد که طول دوره خشک، تر و نرمال در کدام یک از

۱- مقیاس کمتر از شش ماه قابل محاسبه نبود زیرا در اکثر ایستگاه‌ها میزان بارندگی شش ماه از سال صفر می‌باشد.

نشان می‌دهد که تداوم مورد انتظار خشکسالی در شرق استان بیشتر می‌باشد در این منطقه تداوم حدوداً چهار ماه پیش‌بینی شده است.

جدول ۴- ماتریس تعادل ۱۵ ایستگاه مبنای استان خوزستان

W	N	D	ایستگاه	W	N	D	ایستگاه
۰/۳۱۶	۰/۳۶۸	۰/۳۱۶	تله زنگ	۰/۳۳۲	۰/۳۵۰	۰/۳۱۸	سد شهید عباس پور
۰/۳۵۵	۰/۳۴۰	۰/۳۰۵	سد دز	۰/۳۲۶	۰/۳۶۹	۰/۳۰۴	پای پل
۰/۳۱۵	۰/۳۴۶	۰/۳۳۹	سد تنظیمی دزفول	۰/۳۰۵	۰/۳۹۷	۰/۲۹۸	حمیدیه
۰/۳۳۰	۰/۳۸۴	۰/۲۸۶	سپید دشت	۰/۲۸۷	۰/۴۲۰	۰/۲۹۳	مشراکه
۰/۳۵۳	۰/۳۵۳	۰/۲۹۴	ایذه	۰/۳۲۵	۰/۳۷۱	۰/۳۰۴	ایدانک
۰/۳۱۵	۰/۳۵۹	۰/۳۲۶	هفت تپه	۰/۳۶۲	۰/۳۳۴	۰/۳۰۴	سد شهدای بهبهان
۰/۳۴۹	۰/۳۴۴	۰/۳۰۷	گتوند	۰/۳۰۶	۰/۳۶۷	۰/۳۳۱	آب شیرین
۰/۳۲۳	۰/۳۶۷	۰/۳۰۰	اهواز				

جدول ۵- تعداد رویدادهای مورد انتظار در ۱۵ ایستگاه مبنای استان خوزستان

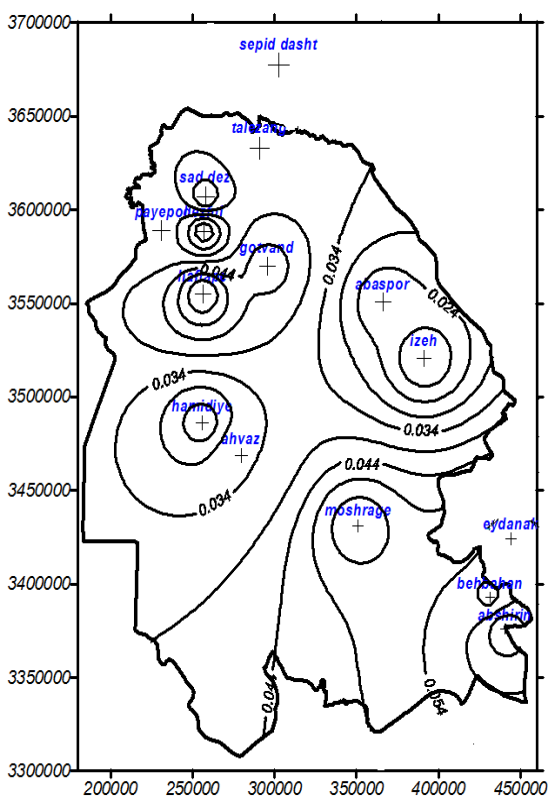
W	N	D	ایستگاه	W	N	D	ایستگاه
۵۱/۸	۷۴/۴	۳۶/۸	تله زنگ	۴۴/۹	۷۲/۶	۳۴/۵	سد شهید عباس پور
۴۸/۳	۷۴/۹	۴۲/۷	سد دز	۴۳/۱	۷۸/۲	۴۸/۲	پای پل
۴۶/۰	۸۰/۷	۴۸/۷	سد تنظیمی دزفول	۳۸/۶	۷۴/۴	۴۳/۵	حمیدیه
۴۲/۱	۶۸/۲	۳۴/۲	سپید دشت	۴۳/۲	۷۳/۱	۴۵/۱	مشراکه
۳۸/۳	۶۳/۸	۳۲/۴	ایذه	۴۶/۴	۶۵/۹	۳۵/۳	ایدانک
۵۰/۶	۶۷/۷	۴۴/۳	هفت تپه	۴۴/۳	۶۰/۱	۳۱/۶	سد شهدای بهبهان
۴۹/۰	۷۴/۲	۴۱/۱	گتوند	۵۳/۲	۷۴/۴	۴۴/۹	آب شیرین
۴۴/۹	۷۷/۹	۴۵/۰	اهواز				

جدول ۶- میانگین تداوم رویدادهای مورد انتظار در ۱۵ ایستگاه مبنای استان خوزستان

W	N	D	ایستگاه	W	N	D	ایستگاه
۲/۹	۲/۳	۴/۱	تله زنگ	۲/۵	۲/۳	۴/۴	سد شهید عباس پور
۳/۵	۲/۲	۳/۴	سد دز	۳/۶	۲/۲	۳/۰	پای پل
۳/۳	۲/۰۳	۳/۳	سد تنظیمی دزفول	۳/۸	۲/۵	۳/۳	حمیدیه
۳/۷	۲/۷	۴/۰	سپید دشت	۳/۲	۲/۷	۳/۱	مشراکه
۴/۴	۲/۶	۴/۳	ایذه	۳/۳	۲/۸	۴/۱	ایدانک
۳/۰	۲/۲	۳/۵	هفت تپه	۳/۹	۲/۶	۴/۶	سد شهدای بهبهان
۳/۴	۲/۲	۳/۵	گتوند	۲/۷	۲/۳	۳/۵	آب شیرین
۳/۴	۲/۲		اهواز				

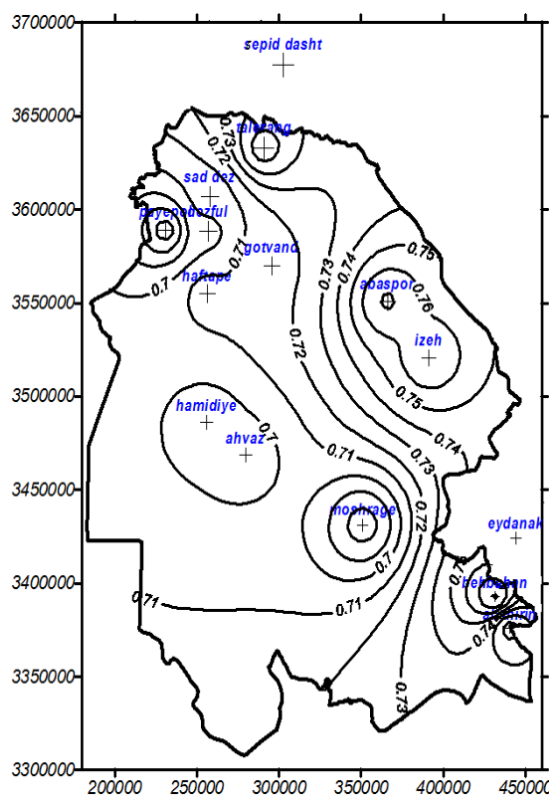
جدول ۲- تعداد و تداوم خشکسالی در یک دوره ۱۰ ساله

ایستگاه	متوسط تداوم	تعداد دوره	کل	ایستگاه	متوسط تداوم	تعداد دوره	کل
سد شهید عباس پور	۴/۴	۸/۴	۳۶/۸	تله زنگ	۴/۱	۸/۹	۳۶/۳
پای پل	۳/۰	۱۱/۷	۳۵/۰	سد دز	۳/۴	۱۰/۳	۳۵/۱
حمیدییه	۳/۳	۱۰/۵	۳۴/۳	سد تنظیمی دزفول	۳/۳	۱۱/۸	۳۹/۰
مشراکه	۲/۷	۱۰/۹	۳۳/۷	سپید دشت	۴/۰	۸/۳	۳۲/۹
ایدانک	۲/۸	۸/۶	۳۵/۰	ایذه	۴/۳	۷/۸	۳۳/۸
سد شهدای بهبهان	۲/۶	۷/۶	۳۵/۸	هفت تپه	۳/۵	۱۰/۷	۳۷/۵
آب شیرین	۲/۳	۱۰/۹	۳۸/۱	گتوند	۳/۵	۱۰/۰	۳۵/۳
				اهواز	۳/۲	۱۰/۹	۳۴/۵



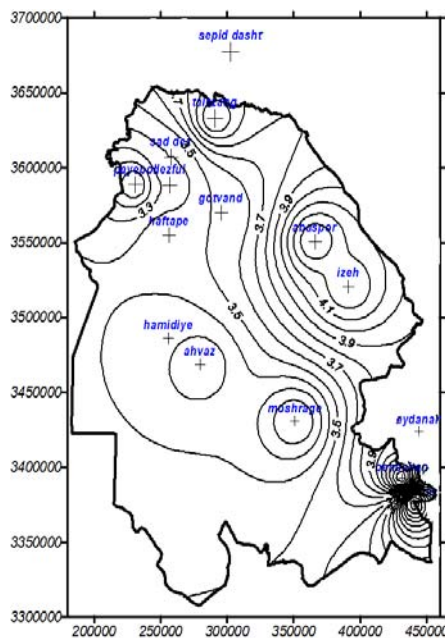
شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی احتمال گذراز حالت خشک

به تر

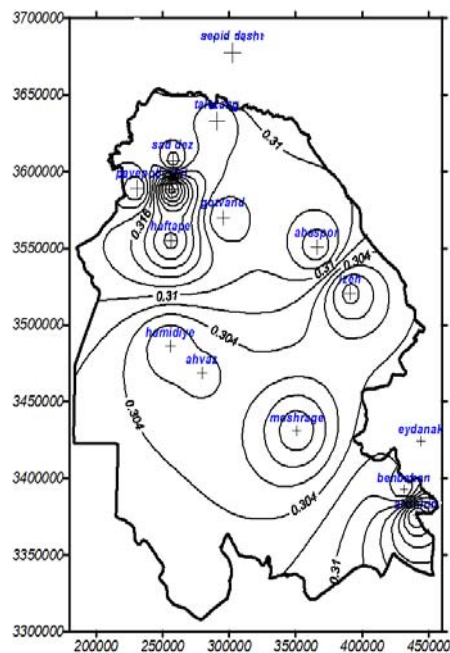


شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی احتمال ماندن در تله

خشکسالی



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی تداوم خشکسالی قابل انتظار در دراز مدت



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی احتمال تعادل خشکسالی

نتیجه‌گیری

تا حداکثر ۴/۶ ماه در ایستگاه سد شهدای بهبهان در نوسان بود.

- به طور متوسط کل استان در ۱۰ سال آینده ۳۵/۵ ماه در گیر خشکسالی خواهد شد.
- بر اساس SPI شش ماهه احتمال ماندن در وضعیت خشکسالی در غرب و شمال غرب استان کمتر می‌باشد و از سمت غرب به شرق و جنوب شرق استان احتمال بیشتر می‌شود.
- احتمال گذر از حالت خشک به حالت تر در کل استان کمتر از هفت درصد بود و روند این حالت نیز از نواحی شمال غرب استان به سمت جنوب شرق حالت افزایشی داشت.
- تداوم مورد انتظار خشکسالی در شرق استان بیشتر از سایر مناطق بود و در این منطقه تداوم حدوداً چهار ماه پیش‌بینی شده است.

در این پژوهش با استفاده از شاخص خشکسالی هواشناسی بارش استاندارد (SPI) وضعیت خشکسالی و پهنه‌بندی آن در استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفت و سپس با استفاده از زنجیره مارکوف مرتبه اول به پیش‌بینی خشکسالی پرداخته شد و نتایج زیر به دست آمده است.

- تمامی ایستگاه‌ها در وضعیت تقریباً نرمال بیشترین فراوانی را دارا می‌باشند و بین ۳۳ الی ۴۳ درصد حالات را به خود اختصاص می‌دهند.
- در مجموع ایستگاه آب شیرین با ۳۳/۹۰ درصد بیشترین و ایستگاه های سپید دشت و مشراکه با ۲۹/۲۶ درصد کمترین فراوانی نسبی را بین تمامی ایستگاه‌ها به خود اختصاص دادند.
- بر اساس SPI شش ماهه میانگین احتمال تعادل دوره‌های خشک، نرمال و تر به ترتیب ۳۰/۸، ۳۶/۵ و ۳۲/۷ درصد برآورد گردید.
- در همه ایستگاه‌ها تعداد دوره های نرمال، بیشتر از دوره‌های تر و خشک و تعداد رویدادهای تر در بیشتر ایستگاه‌ها از رویدادهای خشک بیشتر بود.
- میانگین تداوم دوره خشکسالی پیش‌بینی شده در مقیاس زمانی شش ماهه از حداقل سه ماه در ایستگاه پای پل

منابع

- ۱- انصافی مقدم، ط.، ۱۳۸۶. ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۴(۳): ۲۷۱-۲۸۸.
- ۲- بی نام، ۱۳۸۵. سالنامه آماری، دفتر تحقیقات و برنامه ریزی استانداری استان خوزستان، استانداری خوزستان.
- ۳- حقیقت جو، پ. و ز. شامحمدی حیدری، ۱۳۸۰. کاربرد زنجیره مارکوف در بررسی خشکسالی و ترسالی منطقه سیستان با توجه به بده رودخانه هیرمند. مجموعه مقالات کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، زایل.
- ۴- زارع ایبانه، ح. و ع. ا. محبوبی، ۱۳۸۳. بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخص های آماری خشکسالی، مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۶۴: ۲-۷
- ۵- رضیعی، ط. پ. دانشکار آراسته، ر. ا. اختری. و ب. ثقفیان، ۱۳۸۶. بررسی خشکسالی هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکوف، مجله تحقیقات منابع آب، ۳(۱): ۲۵-۳۵.
- ۶- سلطانی، س. و س. س. سعادت. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خشکسالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه استاندارد بارش (SPI)، مجله علمی - پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱(۲): ۶۴-۶۷.
- ۷- علیزاده، ا. و ش. آشگر طوسی، ۱۳۸۷. توسعه یک مدل برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی (مطالعه موردی استان خراسان رضوی)، مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک، ۲۲(۱): ۲۵-۳۵.
- ۸- علیزاده، الف.، ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ ۲۱، مشهد، دانشگاه امام رضا: ۸۰۷ ص.
- ۹- لشنی زند، م.، ۱۳۸۲. بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی اقلیمی در شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب کشور. مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان. صص ۲۵۷-۲۶۶.
- 10- Agnew, C.T, 2000, Using the SPI to identify drought. Drought Network News, Vol. 12(1),
- 11- Bonaccorso. B., I. Bordi., A. Cancelliere., G. Rossi. and A. Sutera. 2003, Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily. Water Resources Management, 17:273-296.
- 12- Eder, B., K. j. M. Davis and J. F Monahan. 1987. Spatial and temporal analysis of the palmer drought severity index over the South- eastern United States. Journal of Climatology, 7:31-56
- 13- Gabriel, K. R. and J. Neumann. 1962. A Markov Chain model for daily rainfall occurrences in Telaviv, Israel. Journal of the Royal Meteorological Society, 88:90-95
- 14- Karl, T. R. and W. E. Rebsame. 1984. The identification of 10-to 20- Year temperature and precipitation fluctuation in the contiguous United States. Journal of Climate and Applied Meteorology. 23:950-966
- 15- Klugman, M. 2004. Drought in the upper midwest. Journal of Applied Meteorolog., 17:1425-1431
- 16- Kogan, F. N. 1998. Global drought watch from space. Bulletin of the American Meteorological Society, 78(4):621-636
- 17- Livida, I. and V. D. Assimkaopoulos. 2007. Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI). theoretical and applied climatology Journal, 89:143-153

- 18- Mckee, T. B., Doesken, N. J. and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. preprints Eighth Conference on Applied Climatology:179-184.
- 19- Oladipo, E. O. 1986. Spatial pattern of drought in the interior Plains of North America. Journal of Climatology, 6:495-513.
- 20- Sarlak, N., Kahya, E. and O. Anwar Beg. 2009. Critical drought analysis: Case study of Goksu river (Turkey) and North Atlantic oscillation influences. Journal of Hydrologic Engineering, 14(8): 795-802.
- 21- Silva, V. P. R. 2003. On climate variability in Northeast Brazil. Journal of Arid Environment, 54(2):256-367.
- 22- Szilagyi, J., Balint, G. A. Csik. , 2006. Hybrid , Markov Chain- based model for daily stream flow generation at multiple catchment sites. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 11(3): 245-256.
- 23- Thompson, S. A., 1999, Hydrology for water management, Balkema, Rotterdam Netherlands, 362 pp.
- 24- Tsakiris, G. and H. Vangelis. 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. Water Resources Management, 18(1):1-12
- 25- Whipple, W. 1966. Regional drought analysis Journal of Irrigation and Drainage Division, 92:3-11
- 26- Yevjevich, V. 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. Hydrology papers Colorado State University., No 23. ,