

تحلیل خشکسالی در استان گلستان با استفاده از زنجیره مارکف و روش SPI

عبدالحافظ پناهی^{۱*}، غلامرضا جانباز قبادی^۲، پرویز رضایی^۳، علی اصغر زاده^۴

۱- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد، واحد نور، نور، ایران

۲- استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور، نور، ایران

۳- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، رشت، ایران

۴- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور، نور، ایران

چکیده

خشکسالی از موارد تغییر پذیر شرایط اقلیمی است که تعاریف مختلفی از آن ارائه شده در حالت کلی این پدیده حاصل کمبود بارش در یک دوره زمانی ماهانه، فصلی و یا بیشتر است. امروزه با توجه به وقوع خشکسالی‌ها و آسیب‌های عمده به بخش‌های کشاورزی و منابع آبی نیاز در این است که، برنامه ریزی مدونی برای کاهش اثرات آن ارائه نمود. هدف تحقیق حاضر تحلیل خشکسالی و بررسی احتمال وقوع آن در استان گلستان بوده. برای بررسی وضعیت خشکسالی از شاخص SPI و برای بررسی احتمال وقوع آن از زنجیره مارکف مرتبه اول استفاده گردید. داده‌های مورد استفاده طی دوره آماری ۳۰ ساله شامل ۲ ایستگاه سینوپتیک ۲۰۰۸-۱۹۷۹م و ۸ ایستگاه باران سنجی استان طی دوره آماری ۸۶_۵۷ است شاخص‌های خشکی منطقه شامل شرایط خشکسالی‌ها، احتمال ساکن فصول خشک و تر و احتمال اقلیمی فصول خشک و تر، طول دوره‌ها ترسالی و خشکسالی و احتمال خشکسالی‌های فصلی بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که: طول دوره‌های خشک نسبت به طول دوره مرطوب در کلیه ایستگاه‌ها بیشتر بوده و از آغاز دهه ۲۰۰۰ م تداوم آن در ایستگاه‌ها نسبت به سالهای قبل افزایش یافته است. خشکسالی‌های به وقوع پیوسته در اغلب ایستگاه‌ها در فصولی است که مرطوب‌ترین فصل در کل دوره تحقیق بوده برای نمونه در ایستگاه گرگان شدیدترین خشکسالی در زمستان با شاخص SPI ۲/۹۸- اتفاق افتاده است. دوره‌های خشکسالی در کوتاه‌ترین زمان ۵ فصل (۱/۱ سال) و در بیشترین زمان ۲۱ فصل (۵/۱ سال) تداوم یافته است با توجه به ماتریس‌های احتمال انتقال در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه به جزء تیل آباد احتمال وقوع فصل خشک بعد از فصل خشک بالای ۵۰ درصد می باشد که بیشترین آن ایستگاه هاشم آباد گرگان با احتمال ۶۶ درصد است که نشان دهنده دوام خشکسالی و احتمال بالای وقوع آن می باشد.

کلید واژه‌ها: خشکسالی فصلی، SPI، زنجیره مارکف، استان گلستان.

مقدمه

خشکسالی از جمله پدیده های طبیعی است که به علت نبود برنامه ریزی مدون، و عدم آگاهی انسان از زمان وقوع آن، جزء مخاطرات طبیعی به حساب می آید. این پدیده از دیرباز در جوامع مختلفی از انسانها وجود داشته است در قرآن مجید در داستان حضرت یوسف اشاره به رخداد خشکسالی در مصر و پیش بینی آن از طرف حضرت یوسف می کند (سوره یوسف آیات ۴۹ - ۴۳).

با پیشرفت علم آب و هواشناسی در اوایل قرن بیستم این موضوع نیز مورد توجه قرار گرفت و روش های طبقه بندی نوینی از آب و هوا از طرف دانشمندی چون دمارتن (۱۹۰۹) کوپن (۱۹۱۸) آمبرژه (۱۹۵۵) و ... ارائه کردند. پالمر (۱۹۴۶) شاید جزء اولین کسانی باشد که در مورد خشکسالی به طور علمی از روشهای آماری برای بررسی این پدیده اقدام نمود. خشکسالی بسته به نوع درجه شدت آن تأثیرات قابل توجهی بر بخش های کشاورزی، صنعت، آب و ... وارد می کند. در کشورهای غربی امروزه برای کاهش اثرات بلایای طبیعی و خشکسالی با انجام مطالعات گسترده برنامه های مدونی ارائه گردیده است. کشور ایران نیز به علت دارا بودن میانگین بارش سالانه کمتر از ۲۵۰ میلیمتر جزء مناطق خشک به حساب می آید. بدین منظور بررسی وضعیت خشکسالی در ایران از اولویت کارهای تحقیقاتی محققین زیادی قرار گرفته است. استان گلستان با دارا بودن وسعت معادل ۲۰ هزار کیلومتر مربع در حدود ۳۵ درصد از مساحت آن در وضعیت خشک و نیمه خشک قرار گرفته است. وضعیت خشکسالی در این استان که یکی از قطب های کشاورزی ایران است و مردمان آن اغلب کشاورز و وابسته به اقتصاد کشاورزیند، دارای اهمیت زیاد است.

از آنجا که تا کنون تعریف واحدی از خشکسالی ارائه نشده، لذا بسته به این که تحقیقات توسط چه سازمان یا متخصصانی و با چه هدفی اعم از هیدرولوژیکی، کشاورزی، مدیریتی، اقتصادی و ... صورت گرفته از روش های گوناگونی جهت انجام مطالعات استفاده گردیده است. مطالعات فراوانی از روش SPI و زنجیره مارکف انجام پذیرفته است از روش SPI، ونجلیس و ساگریس (Vangelis and Tsakiris, 2004) به منظور پایش

خشکسالی، شاخص های متفاوتی را بررسی کردند و در نهایت از شاخص SPI و تحلیل مکانی آن در این راستا استفاده نمودند.

مزیت این شاخص نسبت به سایر شاخص ها این است که تنها بر پایه بارندگی استوار است و همچنین محاسبات نسبتاً ساده ای را شامل می شود. اما برای این محاسبات به داده ای طولانی مدت بارندگی ماهانه نیاز است که طول دوره آن ۳۰ سال یا بالاتر باشد.

اوایل مون و همکاران (Eull - Moon Tell, 1994) در تحقیقات خود برای حالت های گوناگون وقع بارش های روزانه در کره جنوبی با استفاده از مدل زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالت به وابستگی وقوع بارش امروز به شرایط دیروز و ایستائی در ویژگی های زمانی و مکانی وقوع بارش های روزانه و احتمال ایستائی هفتگی / سالانه وقوع بارش دست یافتند.

یوسفی و همکاران (۱۳۸۴) در برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی قزوین با استفاده از مدل زنجیره مارکف و توزیع نرمال احتمال حالت های خیلی خشک، خشک، و نیمه خشک، متوسط، نیمه مرطوب، مرطوب و خیلی مرطوب براساس بارش های سالانه و فصول مختلف، ایستگاه قزوین محاسبه و نتایج کار این دو روش آماری را مقایسه کردند. نتایج برازش داده حاکی از آن است که زنجیره مارکف بر حالت خشکسالی نسبت به توزیع نرمال برتری دارد.

سیاسر و شهردرازی (۱۳۹۴) در مقاله مقاله پایش و پیش بینی خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی SPI و زنجیره مارکف نتایج نشان داد که در بیشتر سال ها وضعیت تقریباً نرمال بر اساس شاخص SPI بیشترین فراوانی را دارا می باشد و ۵۲ درصد حالات را به خود اختصاص می دهد در ادامه از مدل زنجیره مارکوف برای محاسبه احتمالات تعادل دوره های مرطوب، خشک و نرمال در SPI سالانه استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که در دراز مدت احتمال وقوع خشکسالی ها ۱۳/۳۳ درصد و احتمال وقوع ترسالی ۴۴/۱۸ درصد و احتمال بارندگی متوسط ۴۳/۴۸ درصد می باشد، که این بدین معنی است که در بیشتر مواقع منطقه از نظر اقلیمی در شرایط تقریباً نرمال قرار دارد، در حالی که احتمال وقوع شرایط خشک نزدیک به دو برابر احتمال وقوع شرایط مرطوب می باشد.

در نظر گرفتن ۵ طبقه (وضعیت) خشکسالی، تولید ماتریس احتمال انتقال وضعیت برای دو دوره مرجع منتخب با فرض تبعیت فرآیند اصلی از زنجیره مارکف، امکان پیش‌بینی شدت خشکسالی دوره مرجع تجمعی بلندمدت‌تر با استفاده از شدت خشکسالی دوره‌های مرجع قبلی و استفاده از داده‌های بارش به جای داده‌های جریان رودخانه به‌منظور پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی در ایستگاه‌هایی که همبستگی بالایی بین شاخص SPI , SDI وجود دارد.

کاماسی و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله خود در بررسی خشکسالی کهکیلویه و بویر احمد نتایج به دست آمده از پژوهش بیانگر آن است که نمایه SPI با ریب صحت سنجی 0.73 نسبت به نمایه EDI با ریب صحت سنجی 0.73 قابلیت و دقت بیشتری در پیش‌بینی خشکسالی دارد.

معدنچی و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله پهنه بندی خشکسالی های اقلیمی و بزرگی خشکسالی ها در کرمان با استفاده از شاخص SPI و روش زمین آمار کریجینگ نبا هدف تعیین نقاط حساس به خشکسالی و شناسایی ویژگی‌های خشکسالی نتایج حاصل از این تحقیق مشخص می‌کند که قسمت‌هایی از جنوب غربی و غرب استان در محدوده شهرستان‌های بافت، رابر و سیرجان از نظر احتمال وقوع خشکسالی از حساسیت بیشتری برخوردار هستند و هرچه مقیاس زمانی بالاتر می‌رود قدر مطلق مجموع دوره‌های خشک بیشتر می‌شود.

با توجه به اینکه استان گلستان یکی از قطب‌های کشاورزی بوده و اینکه جنگل‌ها و مراتع زیادی در آن وجود دارد نیاز به پیش‌آگاهی از وقوع خشکسالی‌ها برای مدیران، کشاورزان و دامداران ضرورت می‌باشد تا بتوان از ضرر و زیان‌های احتمالی در هنگام وقوع حوادث کاست. بنابراین در این مطالعه تحقیقی با انتخاب ایستگاه‌های متفاوت و با توزیع مکانی مناسب در انتخاب ایستگاه‌ها از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و باران سنج، تبخیر سنج با استفاده از داده سالانه مشترک ۱۹۷۹-۲۰۰۸ م و ۵۶-۵۷-۸۵-۸۶ به تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی پرداخته شد.

داده‌ها و روش تحقیق

بیشتر تحقیقات انجام شده در ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکف براساس داده‌های سالانه می‌باشد و بنظر می‌رسد که

حنفی، علی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی وضعیت خشکسالی استان تهران با استفاده از نمایه SPI و روش زنجیره مارکف نتیجه گرفتند که شدت خشکسالی از روش SPI تا ۳- و ترسالی تا ۲+ رسیده و از طریق زنجیره مارکف شرایط اقلیمی نرمال بوده و احتمال وقوع خشک و مرطوب بسیار به هم نزدیک است.

صادقی نیا و همکاران (۱۳۹۲) برای برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی برای تهران از روش SPI و زنجیره مارکف استفاده کرده و در آن احتمال وقوع خشکسالی بیش از ترسالی بوده اما وقوع احتمال حالت نرمال بیش از خشکسالی و ترسالی بوده است.

دوستان، رضا (۱۳۹۴) در تحلیلی بر خشکسالی های نیم قرن گذشته ایران از روش بارش استاندارد استفاده نموده و مناطق کشور را به ۷ ناحیه همگن خشکسالی تقسیم بندی نموده است که در آن ناحیه ۱ نواحی شمال غربی و گرگان را دارای بیشترین دوره خشکسالی می‌داند.

مهری و همکاران (۱۳۹۴) در ارزیابی تغییرات مکانی شدت دوره های خشکسالی در استان کردستان با استفاده از بارش استاندارد در مقیاس های ۳، ۶، ۱۲ ماهه شدیدترین خشکسالی های ۱۷ ماه دوام داشته است و در تمامی ایستگاهها در یک دوره آماری ۱۴ ساله سال‌های مرطوب و سال‌های خشک مشاهده گردیده به طوری که ۲ تا ۳ ترسالی متوالی و ۲ تا ۳ خشکسالی متوالی و یا بلافاصله ترسالی خشکسالی به وقوع پیوسته است.

با توجه به روند روبه رشد تغییرات اقلیمی طی سالیان اخیر و وقوع اتفاقات و پیش‌آمدهای حادثه ساز مثل یخبندان ها، طوفانهای، تگرگ، خشکسالی و ... روز به روز ضرورت هرچه بیشتر تحلیل و پیش‌آگاهی از این نوع مخاطرات اقلیمی حادثه ساز احساس می‌گردد.

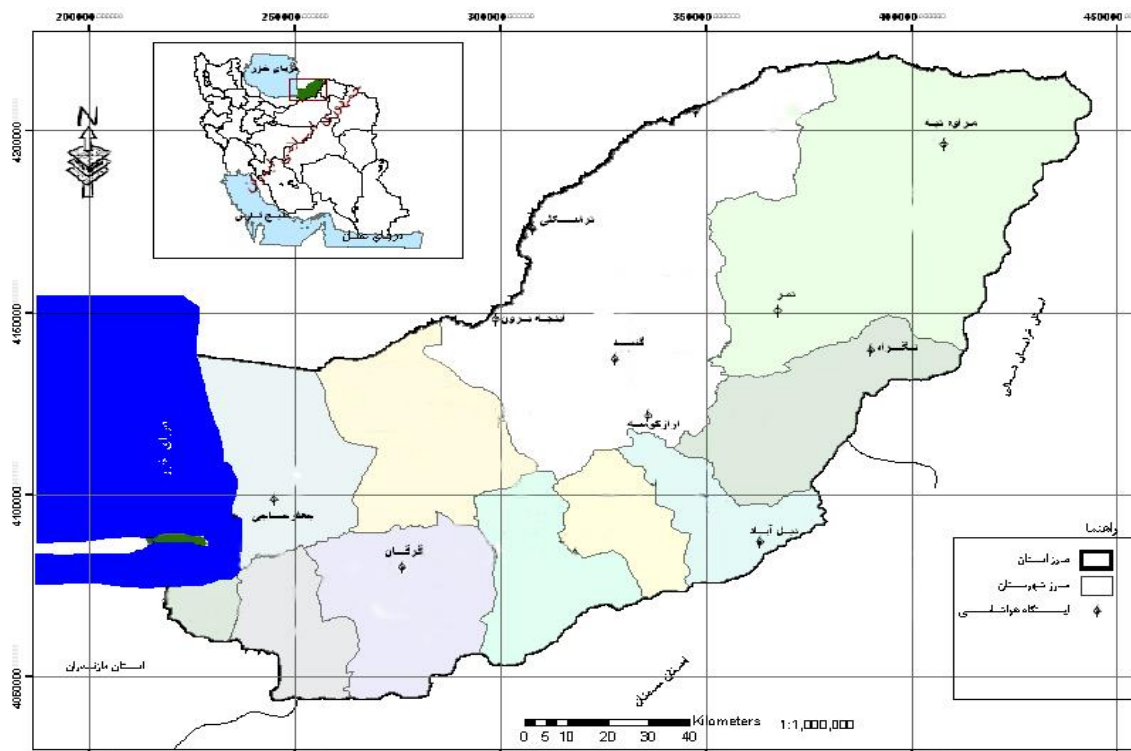
اقتداری و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله پیش‌بینی خشکسالی جریان رودخانه با استفاده از شاخص SPI و زنجیره مارکف در حوزه آبریز کرخه از ویژگی‌های عمده روش مورد استفاده در این مقاله می‌توان به استفاده از شاخصی ساده به نام شاخص خشکسالی جریان رودخانه که شدت خشکسالی هیدرولوژیکی را با استفاده از متوسط دبی جریان رودخانه برای دوره‌های دارای همپوشانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه (دوره‌های مرجع) در هر سال هیدرولوژیکی توصیف می‌کند،

ابتدای مراحل آزمون کردن زنجیره مارکف این داده‌ها، برای تمامی ایستگاههای استان داده‌های بارش از عدم استقلال و عدم همگنی داده‌ها برخوردار شدند. تیر (Thyer, 2000) در تحقیقات خود یادآور می‌شود که برای شبیه سازی بارش‌های سالانه یک منطقه با استفاده از زنجیره مارکف حداقل ۱۲۰ سال نیاز است. (Thyer et al 2006).

در ادامه تحقیقات خود داده‌های مورد نیاز در ایستگاههای دارای وضعیت دو حالت مشخص ۲۰۰ تا ۱۰۰ سال و در ایستگاههای دارای وضعیت نامشخص ۵۰۰ - ۲۰۰ سال لازم می‌دانند.

از دقت و کارایی خوبی برخوردار نباشد. اشگر طوسی (۱۳۸۳) در نتیجه کار خود یادآور می‌شود که برای استفاده بهتر از مدل زنجیره مارکف به داده‌های آماری طولانی مدت نیاز است و کاربرد این مدل برای داده‌های بارندگی روزانه یا ماهانه، نتایج بهتری ارائه می‌نماید.

مکان تحقیق استان گلستان با مختصات جغرافیایی $37.2898^{\circ} N, 55.1376^{\circ} E$ و موقعیت شکل زیر می‌باشد. در این تحقیق در مرحله اول تعداد ۶ ایستگاه از ایستگاههای هواشناسی استان گلستان (گرگان، گنبد، بندرترکمن، آق قلا، کلاله، آق توقای) با داده‌ای سالانه ۳۶ ساله انتخاب کرده در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده تحقیق

۴ فصل و ۳۰ سال، کل داده‌ها جمعاً به ۱۲۰ مورد رسید. در هر ایستگاه با ۱۲۰ مورد داده بررسی شد.

ابتدا با نرم افزار اکسل و روش Run-Test کنترل کیفی داده‌ها انجام شد. سپس مراحل آزمون زنجیره مارکف شامل آزمون استقلال داده‌ها ایستائی داده‌ها و همگنی داده‌ها با استفاده از روش‌های زیر انجام پذیرفت.

۱- استقلال داده‌ها یعنی آیا رویدادهای وقوع بارش ماهانه مستقل از یکدیگرند (فرض صفر) یا به یکدیگر وابسته هستند (فرض متقابل) جهت مشخص نمودن این کار از مطالعات

برای ادامه تحقیق از داده‌های ایستگاههای هواشناسی استان و ایستگاه‌های باران سنجی وزرات نیرو سال‌های آماری طوری انتخاب گردید که تمامی ایستگاهها ۳۰ سال داده آماری داشته باشند بدین ترتیب سینوپتیک هاشم آباد گرگان و گنبد با سالهای آماری ۳۰ ساله (۲۰۰۸ - ۱۹۷۹) و ایستگاههای تخییر سنجی و باران سنجی مراوه تپه، تنگراه، تمر، تیل آباد، ارازکوسه، ترشکلی، اینچه برون و غفار حاجی با سالهای آماری ۳۰ ساله ۸۶ - ۱۳۸۵ - ۵۷ - ۱۳۵۶ انتخاب و بصورت فصلی داده‌ها جمع بندی شد با احتساب هر سال

$$spi = p - P / sd$$

P مقدار بارش سالانه P میانگین بارش سالانه sd انحراف معیار

جدول ۱- وضعیت اقلیمی و مقادیر SPI

مقدار SPI	وضعیت
۲ و بیشتر	شدیداً مرطوب
بین ۱/۵ تا ۱/۹۹	بسیار مرطوب
بین ۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط
بین ۰/۹۹ - تا ۰/۹۹	نزدیک نرمال
بین ۰ - تا ۰/۴۹ -	خشک متوسط
بین ۰/۱ - تا ۰/۹۹ -	بسیار خشک
۰/۲ - و کمتر	شدیداً خشک

برای بدست آوردن SPI ایستگاهها از نرم افزار Mini Tab استفاده شده از آنجا که بیشتر تحقیقات اقلیمی و بخصوص در کشاورزی برای ارایه برنامه ریزی مدون علاوه بر شناخت و تحلیل خشکسالی ها به احتمال وقوع دوره های تر و خشک و طول مدت آنها و دوره برگشت آنها نیز لازم است لذا برای این کار از روش زنجیره مارکف مرتبه اول استفاده گردید.

معرفی مدل زنجیره مارکف

زنجیره مارکف یک روش ریاضی برای مدل‌بندی فرایندهای احتمالاتی است. مفهوم زنجیره مارکف این است که یک زنجیره با یک سری از مشاهدات مورد بررسی قرار گرفته و احتمال تغییر هر کدام از مشاهدات از حالتی به حالت دیگر مشخص می‌شود.

زنجیره مارکف می‌گوید که احتمال وقوع یک حالت اقلیمی در زمان t بستگی به وضعیت آن در زمان قبل (t-1) دارد وابستگی به زمان از طریق ضرایب همبستگی سری و یا با استفاده از ماتریس‌های احتمال انتقال بیان می‌شود. آنچه در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد، ماتریس‌های احتمال انتقال برای بیان وقوع حالت‌های خشک و مرطوب می‌باشد.

اگر فرض شود X(t) یک فرایند با مقدار گسسته است که در زمان صفر شروع شده و در طول زمان ادامه می‌یابد. آنگاه مقدار X(t) را بصورت $X_t (t=0, 1, \dots)$ می‌توان نشان داد.

آندرسون و گودمن (Anderson and Goodman, 1957) در این فرمول m تعداد کل حالتها (در این مطالعه دو مورد) و pj بیان کننده احتمالات حاشیه ای ستون jام از ماتریس احتمال انتقال که معادله زیر بدست می‌آید.

$$\alpha = 2 \sum_{i,j}^{m} nij \ln(pij / pj)$$

در این فرمول m تعداد کل حالتها (در این مطالعه دو مورد) و pj بیان کننده احتمالات حاشیه ای ستون jام از ماتریس احتمال انتقال که معادله زیر بدست می‌آید.

$$pj = \sum_i^m mij / \sum_{i,j}^m nij$$

۲- آزمون استیایی: یکی از راه های مناسب جهت آزمون استیایی یک زنجیره، تقسیم دوره مورد مطالعه به زیر دادهای کوچک تر می‌باشد و برای هر زیر دوره به طور جدا گانه ماتریس احتمال انتقال محاسبه در نهایت با یکدیگر مقایسه می‌شود.

$$\beta = 2 \sum_t^T mniJ(t) \ln[pij(t) / pij]$$

در این معادله t تعداد زیر دوره ها (در این مطالعه ۳ زیر دوره) و pij(t) و nij(t) مؤلفه‌های ماتریس فراوانی و ماتریس احتمال انتقال اگر زنجیره مارکف ایستا باشد β دارای توزیع x2 با درجه آزادی (s-1)m(m-1) است.

همگنی مکانی داده ها

$$\gamma = 2 \sum_s^S \sum_{i,j}^m nij(s) \ln(pij(t) / pij)$$

در این معادله s تعداد ایستگاهها (در این مطالعه s=10) و nij , pij مؤلفه‌های ماتریس فراوانی و ماتریس احتمال انتقال ایستگاهها است (Eull-Moon et al 1994).

روش SPI

شاخص توزیع استاندارد یکی از شاخص های اساسی در مطالعه تغییرات حول مرکز بشمار می‌آید که محاسبه آن نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار درازمدت مقادیر بارندگی برای دوره های مورد مطالعه است.

شاخص SPI برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی های طولانی مدت آن و بازه‌های زمانی مختلف (۳ و ۲ و ۱ و ...) و ۱۲ و ۱۸ و ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه می‌شود و برای ارائه هشدار اولیه به ارزیابی شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارد وضعیت این شاخص در جدول ۱ نشان داده شده است.

$$E_0 = \frac{1}{p01} \quad \text{۴- طول دوره های خشک و تر} \quad (۱)$$

$$E_1 = \frac{1}{p10} \quad \text{۵- طول دوره های مرطوب}$$

۶- بعد از مشخص کردن طول دوره های خشک و تر با جمع آنها می توان به یک روندی دست یافت که در آن طول دوره خشکسالی و ترسالی را مشخص می کند. $E = E0 + E1$

یافته های تحقیق

با توجه به نمودار SPI فصلی ایستگاه مراوه تپه، بیشترین حد ترسالی را با شاخص ۴/۸۱ در بهار ۷۸-۷۹ و بیشترین حد خشکسالی را در زمستان ۸۰-۷۹ با شاخص ۱/۸۱- داراست. بیشترین دوره ترسالی، که از تابستان ۷۸-۷۷ تا تابستان ۷۹-۷۸ به مدت ۵ فصل و بیشترین دوره خشکسالی آن از پائیز ۸۰-۷۹ تا بهار ۸۱-۸۰ به مدت هفت فصل ادامه یافته است. در این ایستگاه مرطوب ترین فصل زمستان و تابستان است و خشک ترین فصل نیز پائیز و بهار می باشد در صورتی که بیشترین حد خشکسالی به وقوع پیوسته در فصل زمستان و بیشترین حد ترسالی در فصل بهار است. با توجه به نمودار SPI فصلی ایستگاه تنگراه، بیشترین حد ترسالی با شاخص ۲/۷۵ در تابستان ۸۰-۷۹ و بیشترین حد خشکسالی با شاخص ۲/۱۱- در پاییز ۷۸-۷۷ داراست. بیشترین دوره ترسالی از بهار ۸۳-۸۲ تا بهار ۸۴-۸۳ به مدت ۵ فصل و بیشترین حد خشکسالی از زمستان ۶۲-۶۱ تا زمستان ۶۳-۶۲ به مدت ۵ فصل اتفاق افتاده است در این ایستگاه مرطوبترین فصل پائیز و خشکترین فصل زمستان، بهار، تابستان است. در صورتی که بیشترین حد خشکسالی به وقوع پیوسته در فصل پائیز و بیشترین حد ترسالی در فصل تابستان است.

$$P[x(t)=xt/x(0)=x0, x(1)=xp, \dots, x(t-1)=x t-1]$$

اگر رابطه یک ساده شود آنگاه خواهیم داشت

$$p[x(t) = xt / x(t-1) = xt-1] \quad (۲)$$

رابطه دو به این معنی است که نتیجه هر فرایند در زمان t تنها با استفاده از شرایط زمان t-1 مشخص می شود فرایندهایی که چنین شرایطی دارند یک زنجیره مارکف مرتبه اول می باشند اکثر زنجیره های مارکف که در پیش بینی خشکسالی مورد استفاده قرار می گیرند، مرتبه اول هستند.

محاسبه ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکف

ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکف p را برای حالتها مختلف به صورت زیر می توان نوشت:

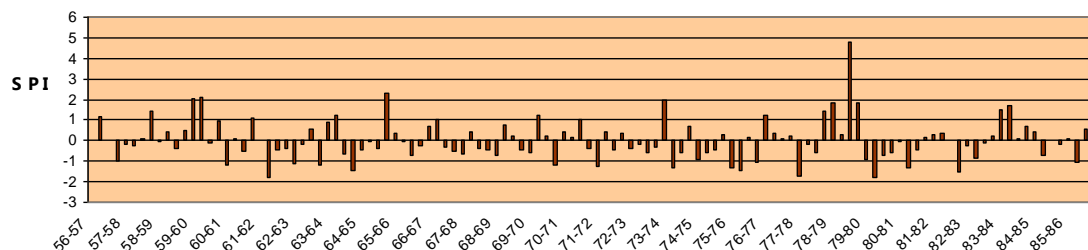
$$p = \begin{bmatrix} 00 & 01 \\ 10 & 11 \end{bmatrix}$$

در این ماتریس ۰۰ بیانگر احتمال ماه خشک بعد از یک ماه خشک و ۱۱ یعنی احتمال ماه مرطوب بعد از یک ماه مرطوب و ۰۱ احتمال ماه خشک بعد از یک ماه مرطوب و ۱۰ احتمال ماه مرطوب بعد از یک ماه خشک است. بعد از بدست آوردن ماتریس فراوانی و سپس ماتریس احتمال انتقال رابطه زیر استفاده از این ماتریس بدست می آوریم.

- ۱- احتمال ساکن وقوع فصول خشک (تعداد فصول خشک کل دوره تقسیم بر تعداد فصول کل دوره)
- ۲- احتمال ساکن وقوع فصول مرطوب (تعداد فصول مرطوب کل دوره تقسیم بر تعداد فصول کل دوره)
- ۳- احتمال اقلیمی (نشان دهنده درصد خشکسالی یا ترسالی)

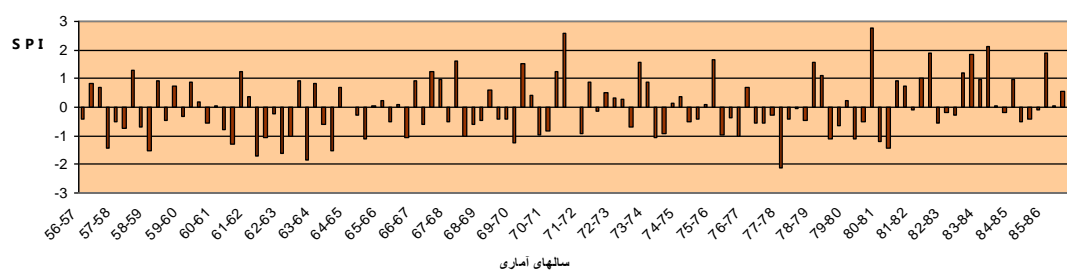
$$\eta_0 = \frac{p10}{p01 + p10} \quad \text{۱-۳ احتمال اقلیمی فصول خشک}$$

$$\pi_1 = \frac{p01}{p10 + p10} \quad \text{۲-۳ احتمال اقلیمی فصول مرطوب}$$



سالهای آماری

شکل ۲- SPI فصلی مراوه تپه



شکل ۳- SPI فصلی تنگراه

فصول پائیز و زمستان مرطوبترین فصل و بهار و تابستان خشکترین فصل می‌باشند در صورتی که بیشترین حد خشکسالی به وقوع پیوسته و در فصول پائیز و زمستان و بیشترین حد ترسالی در بهار و تابستان اتفاق افتاده است.

با توجه به نمودار SPI فصلی ایستگاه ترشکلی، بیشترین حد ترسالی با شاخص ۳/۴۹ در بهار ۷۰-۷۱ و با شاخص ۳/۳۴ در تابستان ۸۰-۸۱ و بیشترین حد خشکسالی آن نیز با شاخص ۱/۸۳- در پائیز ۷۷-۷۸ و ۱/۷۱- در زمستان ۸۱-۸۰ می‌باشد.

بیشترین دوره ترسالی آن از فصل بهار ۸۱-۸۰ تا بهار ۸۲-۸۱ و ۸۱ و بهار ۸۳-۸۲ تا بهار ۸۴-۸۳ به مدت ۵ فصل و بیشترین دوره خشکسالی از پائیز ۶۰-۶۱ تا پائیز ۶۶-۶۵ به مدت ۲۱ فصل (۵ سال) میباشد که همانند ایستگاه تهر بوده و آن دو ایستگاه همچنان که گفته شد دارای بیشترین طول مدت خشکسالی را در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه دارا می‌باشند. فصول تابستان و زمستان دارای خشک‌ترین و پائیز و بهار نیز مرطوب‌ترین فصل‌ها می‌باشند. در صورتی که بیشترین حد خشکسالی در پائیز و زمستان و بیشترین حد ترسالی در فصل تابستان اتفاق افتاده است.

با توجه به نمودار SPI فصلی ایستگاه اینچه برون، بیشترین حد ترسالی با شاخص ۲/۵۹ در بهار ۷۰-۷۱ با شاخص ۲/۵۳ و در تابستان ۸۲-۸۳ و بیشترین حد خشکسالی نیز در پائیز ۷۸-۷۷ با شاخص ۱/۶۱- اتفاق افتاده است.

بیشترین دوره ترسالی از پائیز ۸۳-۸۲ تا پائیز ۸۵-۸۴ به مدت ۹ فصل که بیشترین مدت طول ترسالی به وقوع پیوسته در ایستگاه‌ها مورد مطالعه است و بیشترین دوره خشکسالی آن نیز از پائیز ۶۰-۶۱ تا تابستان ۶۳-۶۲ به مدت ۱۲ فصل اتفاق افتاده است. که بعد از ایستگاه‌های تهر و ترشکلی دارای سومین ایستگاه از نظر طول مدت دوام دوره خشکسالی می‌باشد.

با توجه به نمودار SPI فصلی ایستگاه تهر، بیشترین حد ترسالی با شاخص ۳/۴۹ در بهار ۷۱-۷۰ و بیشترین حد خشکسالی با شاخص ۱/۸۳- در پائیز ۷۸-۷۷ دارا بوده است. بیشترین دوره ترسالی از بهار ۸۱-۸۰ تا بهار ۸۲-۸۱ و از بهار ۸۳-۸۲ تا بهار ۸۴-۸۳ به مدت ۵ فصل و بیشترین دوره خشکسالی از پائیز ۶۰-۶۱ تا پائیز ۶۶-۶۵ به مدت ۲۱ فصل (۵ سال) می‌باشد که همراه با ایستگاه ترشکلی دارای بیشترین دوره وقوع خشکسالی در کل محدوده مورد مطالعه می‌باشد. در این ایستگاه پائیز و بهار مرطوب‌ترین و تابستان و زمستان خشکترین فصل‌ها می‌باشند و در صورتی که بیشترین حد خشکسالی در پائیز اتفاق افتاده در صورتی که پائیز جز فصول مرطوب این ایستگاه می‌باشد.

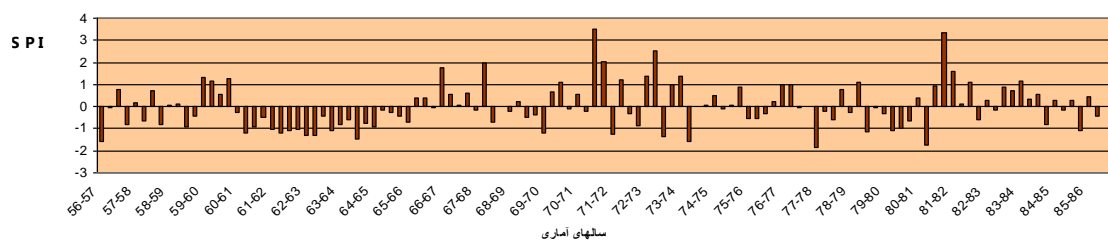
با توجه به نمودار SPI فصلی ایستگاه تیل آباد، بیشترین حد ترسالی با شاخص ۲/۵۵ در بهار ۷۱-۷۰ و بیشترین حد خشکسالی با شاخص ۲/۶- در زمستان ۵۷-۵۶ دارا می‌باشد. بیشترین دوره ترسالی از پائیز ۶۰-۵۹ تا زمستان ۶۱-۶۰ به مدت ۶ فصل می‌باشد و بیشترین دوره خشکسالی آن از پائیز ۶۹-۶۸ تا پائیز ۷۰-۶۹ به مدت ۵ فصل اتفاق افتاده است.

پائیز و تابستان جز خشکترین فصل‌ها و زمستان مرطوبترین فصل می‌باشد در صورتی که بیشترین حد خشکسالی در فصل زمستان که مرطوبترین فصل بوده اتفاق افتاده است.

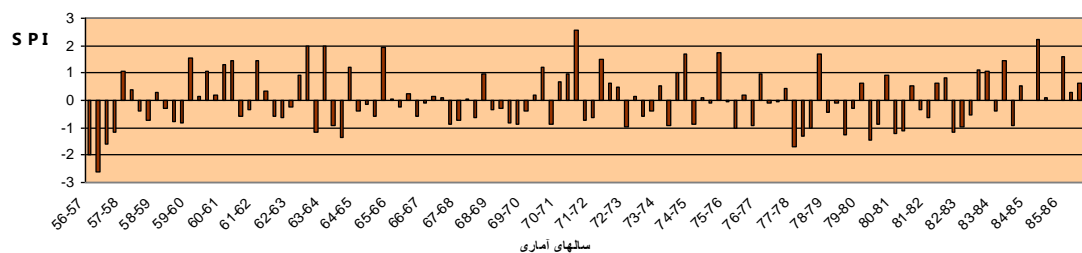
با توجه به نمودار SPI فصلی ایستگاه اراز کوسه، بیشترین حد ترسالی در بهار ۷۱-۷۰ با شاخص ۲/۱۴ و ۲/۱۴ در تابستان ۶۵-۶۴ و بیشترین حد خشکسالی با شاخص ۲/۱۹- در زمستان ۶۲-۶۱ و ۲/۷- در پائیز ۷۰-۶۹ دارا بوده است.

بیشترین دوره ترسالی از بهار ۸۴-۸۳ تا پائیز ۸۵-۸۴ به مدت هفت فصل و بیشترین دوره خشکسالی از زمستان ۷۵-۷۴ تا تابستان ۷۶-۷۵ به مدت هفت فصل بوده است.

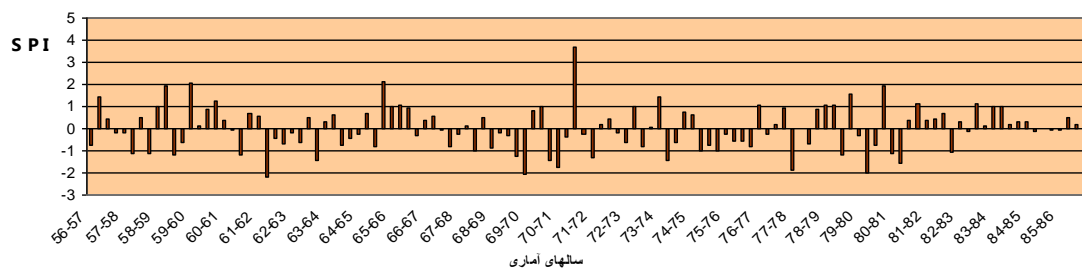
فصول پائیز و زمستان جزء مرطوبترین و بهار و تابستان خشکسالی آن در فصل پائیز و بیشترین حد ترسالی نیز در خشک ترین فصول می باشد. در صورتی که بیشترین حد بهار به وقوع پیوسته است.



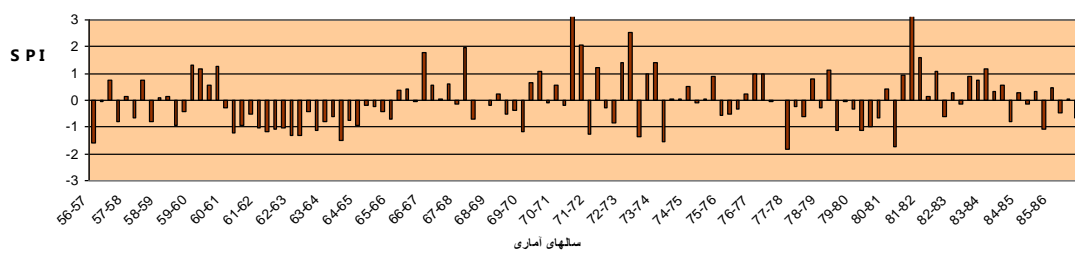
شکل ۴- SPI فصلی تهر



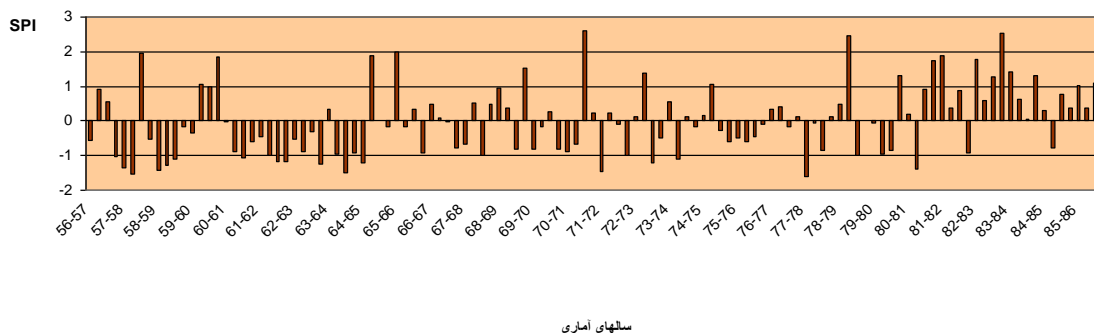
شکل ۵- SPI فصلی تیل آباد



شکل ۶- SPI فصلی آرازکوسه



شکل ۷- SPI فصلی ترشکلی



شکل ۸- SPI فصلی اینچه برون

تابستان و پائیز جز خشکترین و زمستان و بهار جز مرطوبترین فصول است در صورتی که بیشترین حد ترسالی در تابستان و پائیز و بیشترین حد خشکسالی در زمستان و بهار به وقوع پیوسته است.

با توجه به نمودار فصلی SPI ایستگاه گنبد، بیشترین حد ترسالی در بهار ۱۹۹۲ با شاخص ۳/۹۵ و زمستان ۱۹۸۹ با شاخص ۳/۰۵ و بیشترین حد خشکسالی در پائیز ۱۹۹۲ با شاخص ۱/۷۴- و پائیز ۱۹۹۱ با شاخص ۱/۶۸- است.

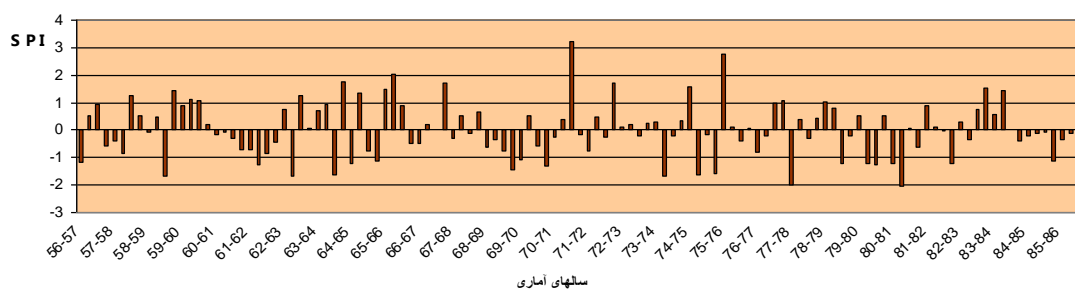
بیشترین مدت ترسالی از تابستان ۱۹۸۰ تا تابستان ۱۹۸۱ و بهار ۲۰۰۲ تا بهار ۲۰۰۳ به مدت ۵ فصل و بیشترین مدت خشکسالی نیز از پائیز ۲۰۰۰ تا زمستان ۲۰۰۲ و تابستان ۲۰۰۷ تا پائیز ۲۰۰۸ به مدت ۶ فصل می‌باشد و از تابستان ۲۰۰۵ روندی از خشکسالی به وقوع پیوسته که دوام بیشتری نسبت به بقیه دوره‌ها داشته است. در ۱۴ فصل آخر مورد مطالعه این ایستگاه فقط ۴ فصل از ترسالی برخوردار بوده است.

فصل بهار ۷۱-۷۰ در کلیه ایستگاه‌ها به جز مراوه تپه بیشترین حد ترسالی اتفاق افتاده است. از بهار ۸۳-۸۲ تا بهار ۸۵-۸۴ شرایط ترسالی در کلیه ایستگاههای مورد مطالعه برقرار بوده است و از بهار ۷۹-۷۸ تا زمستان ۸۱-۸۰ شرایط خشکسالی در اغلب ایستگاه‌ها حاکم بوده است. از زمستان ۶۱-۶۰ تا بهار ۶۵-۶۴ پایداری خشکسالی در اغلب ایستگاه‌ها حاکم بوده که این شرایط در ایستگاه‌های ترکی، اینچه برون، غفار حاجی بیشترین از سایر ایستگاهها بوده است.

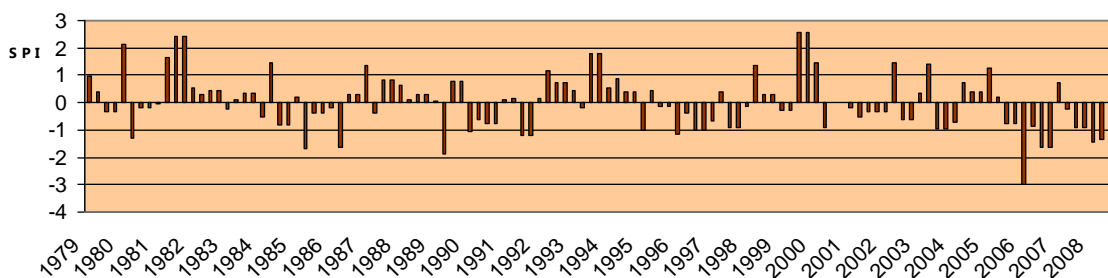
با توجه به نمودار فصلی SPI ایستگاه غفار حاجی بین ایستگاههای مورد مطالعه بیشترین حد ترسالی در بهار ۷۱-۷۰ با شاخص ۳/۲۲ و بیشترین حد خشکسالی آن نیز در زمستان ۸۱-۸۰ با شاخص ۲/۰۵- و پائیز ۷۸-۷۷ با شاخص ۱/۹۹- بوده است. بیشترین مدت ترسالی از بهار ۸۳-۸۲ تا بهار ۸۴-۸۳ به مدت ۵ فصل و بیشترین مدت دوره خشکسالی از پائیز ۶۱-۶۰ تا تابستان ۶۲-۶۱ به مدت هشت فصل می‌باشد. فصول زمستان و تابستان مرطوبترین و بهار و پائیز خشکترین فصل است در صورتی که بیشترین حد ترسالی در پائیز و بیشترین حد خشکسالی در زمستان بوقوع پیوسته است.

با توجه به نمودار فصلی SPI هاشم آباد گرگان که بیشترین حد ترسالی را در تابستان و پائیز ۱۹۹۹ با شاخص ۲/۵۵ و تابستان و پائیز ۱۹۸۱ با شاخص ۲/۴۴ و بیشترین حد خشکسالی را نیز در زمستان ۲۰۰۶ با شاخص ۲/۹۸- و بهار ۱۹۸۹ با شاخص ۱/۸۸- دارا می‌باشد.

بیشترین مدت دوره ترسالی از بهار ۱۹۸۱ تا پائیز ۱۹۸۲ و از تابستان ۱۹۸۷ تا زمستان ۱۹۸۸ به مدت هفت فصل و بیشترین مدت خشکسالی از تابستان ۱۹۹۵ تا زمستان ۱۹۹۶ و از بهار ۲۰۰۷ تا پائیز ۲۰۰۸ به مدت هفت فصل بوده است. از سال ۲۰۰۵ یک دوره طولانی خشکسالی حاکم است که فقط در سال ۲۰۰۶ یک فصل ترسالی وجود دارد. یعنی در ۱۴ فصل آخر مورد مطالعه این ایستگاه فقط یک مورد ترسالی وجود دارد.

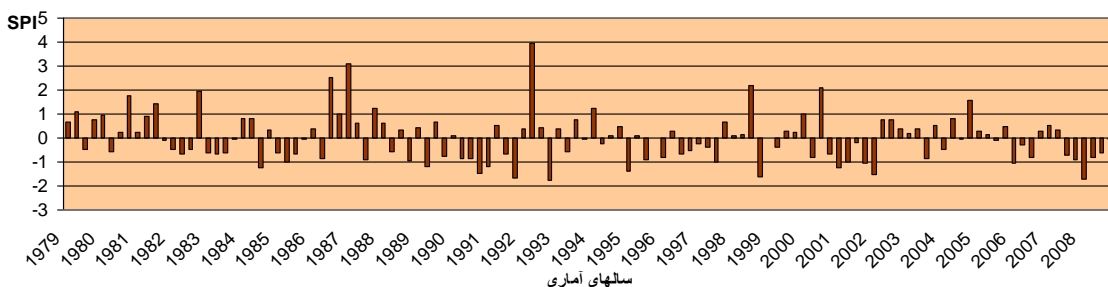


شکل ۹- SPI فصلی غفار حاجی



سالهای آماری

شکل ۱۰- SPI فصلی گرگان



سالهای آماری

شکل ۱۱- SPI فصلی گنبد

جدول ۲- فراوانی تعداد فصول خشک و مرطوب

مرطوب				خشک				نام ایستگاه
تابستان	بهار	زمستان	پائیز	تابستان	بهار	زمستان	پائیز	
۱۴	۱۶	۱۵	۱۴	۱۶	۱۴	۱۵	۱۶	هاشم آباد
۱۲	۱۴	۱۸	۱۵	۱۸	۱۶	۱۲	۱۵	گنبد
۱۵	۱۳	۱۵	۱۳	۱۵	۱۷	۱۵	۱۷	مراوه تپه
۱۳	۱۴	۱۳	۱۶	۱۷	۱۷	۱۷	۱۴	تنگراه
۱۲	۱۵	۱۳	۱۶	۱۸	۱۵	۱۷	۱۴	تمر
۱۲	۱۴	۱۶	۱۲	۱۸	۱۶	۱۴	۱۸	تیل آباد
۱۳	۱۴	۱۵	۱۵	۱۷	۱۶	۱۵	۱۵	اراز کوسه
۱۲	۱۵	۱۳	۱۵	۱۸	۱۵	۱۷	۱۵	ترشکلی
۱۳	۱۳	۱۵	۱۵	۱۷	۱۶	۱۵	۱۵	اینچه برون
۱۵	۱۳	۱۷	۱۳	۱۵	۱۷	۱۳	۱۷	غفار حاجی
۱۳۱	۱۴۱	۱۵۰	۱۴۴	۱۶۹	۱۵۹	۱۵۰	۱۵۶	جمع فراوانی

می باشد. با توجه به این شرایط از کل ۱۲۰۰ فصل، ۵۶۶ فصل مرطوب و ۶۳۴ فصل خشک بوده است. در فراوانی دوره مرطوب زمستان با تعداد ۱۵۰ فصل مرطوبترین فصل و در فراوانی دوره خشک تابستان با تعداد ۱۶۹ فصل خشک ترین فصل می باشد.

در این ایستگاهها با توجه به جدول (۲) در کل دوره مورد مطالعه ۱۲۰۰ فصل تعداد وقوع فصل خشک برای فصول پائیز زمستان، بهار، تابستان به ترتیب ۱۵۶، ۱۵۰، ۱۵۹، ۱۶۹ فصل و تعداد وقوع فصل مرطوب برای فصول پائیز، زمستان، بهار، تابستان به ترتیب ۱۴۴، ۱۵۰، ۱۴۱، ۱۳۱ فصل

مرطوب‌ترین فصل در اغلب ایستگاههای زمستان و خشک‌ترین آن بهار و تابستان می‌باشد. در ایستگاه ترموترشکلی دارای ماتریس‌های انتقال برابر می‌باشند و دارای شرایط یکسانی از لحاظ وضعیت ترسالی و خشکسالی و احتمال انتقال زنجیره مارکف می‌باشند. ایستگاه‌های هاشم‌آباد گرگان، اینچه برون، اراز کوسه، بترتیب با دارا بودن ۶۴ درصد، ۵۵ درصد، ۵۳ درصد نسبت به سایر ایستگاه‌ها از ترسالی بیشتری برخوردار می‌باشند. در بقیه ایستگاه‌ها شرایط تر از ۵۰ درصد بالاتر نمی‌رود.

ماتریس احتمال انتقال مرتبه اول ایستگاههای مورد مطالعه در جدول شماره (۳) آمده است. اعداد هر کدام از این ماتریس‌های موجود در داخل جدول مانند مدل زنجیره مارکف می‌باشند و بیانگر وقوع حالت‌های مختلف در دوره مورد بررسی است. در قسمت اول در ستون ماتریس‌های انتقال بیشترین حد ترسالی مربوط به ایستگاه هاشم‌آباد گرگان با پایداری ۶۴ و درصدی و کم‌ترین حد آن مربوط به ایستگاه تیل‌آباد با پایداری ۳۹ درصدی می‌باشد.

جدول ۳- ماتریس‌های احتمال انتقال مرتبه اول (ایستگاه‌ها تبخیر باران سنجی و سینوپتیک)

تابستان		بهار		زمستان		پائیز		ماتریس احتمال انتقال		ماتریس نام ایستگاه
۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۵۵	۴۵	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۵۸	۰/۴۲	مراوه تپه
۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۵۹	۰/۴۹	
۰/۵۴۵	۰/۴۵۴	۰/۵۴۵	۰/۴۵۴	۰/۵۴۵	۰/۴۵۵	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۵۰	تنگراه
۰/۵۴۵	۰/۴۵۵	۰/۵۴۵	۰/۴۵۵	۰/۵۴۶	۰/۴۵۴	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۶	۰/۴۰	
۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۴۷	۰/۴۷	تمر
۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۴۵	
۰/۴۵۴	۰/۴۵۵	۰/۵۴۵	۰/۴۵۵	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۵۱	تیل‌آباد
۰/۵۴۵	۰/۴۵۵	۰/۵۴۵	۰/۴۵۵	۰/۵۴۵	۰/۴۵۵	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۶۱	۰/۳۹	
۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۶	۰/۴۴	اراز کوسه
۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۲	۴۸	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۴۷	۰/۵۳	
۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۴۷	ترشکلی
۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۵	۰/۴۵	
۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۴۷	۰/۵۹	۰/۴۱	اینچه برون
۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۵۵	
۰/۵۲۵	۰/۴۷۵	۰/۵۲۵	۰/۴۷۵	۰/۵۲۵	۰/۴۷۵	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۴۸	غفار حاجی
۰/۵۲۷	۰/۴۷۷	۰/۵۲۷	۰/۴۷۷	۰/۵۲۵	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۴۷	
۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۵۲	گنبد
۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۵۶	
۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۴۷	۰/۵۶	۰/۴۶	۰/۶۶	۰/۳۴	هاشم‌آباد
۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۳۶	۰/۶۴	

است. P_{10} یعنی احتمال وقوع یک ماه مرطوب بعد از یک ماه خشک ۴۷ درصد و p_{01} احتمال وقوع یک ماه خشک بعد از یک ماه مرطوب ۴۶ درصد که کمترین احتمال وقوع است.

برای بررسی ماتریس‌های احتمال در داخل جدول (۳) به عنوان نمونه ایستگاه هاشم‌آباد گرگان در فصل زمستان احتمال وقوع p_{00} یعنی احتمال وقوع یک ماه خشک بعد از یک ماه خشک ۵۶ درصد و احتمال وقوع p_{11} یعنی احتمال وقوع یک ماه مرطوب بعد از یک ماه مرطوب ۵۳ درصد

حداقل احتمال وقوع p01 برای ایستگاه مراوه تپه و تنگراه برای تمامی فصول ۴۵ درصد و حداکثر آن با احتمال ۴۹ درصد برای ایستگاه گنبد میباشد.

حداقل احتمال وقوع P10 برای ایستگاه گنبد با احتمال ۵۱ درصد و حداکثر آن برای ایستگاه مراوه تپه با احتمال ۵۵ درصد است در ماتریس‌های مورد بررسی

$$P = \begin{matrix} 0 & \\ 1 & \end{matrix} \begin{bmatrix} 00 & 01 \\ 10 & 11 \end{bmatrix}$$

سطر اول یعنی p00 و p01 را درایه های خشکسالی و سطر دوم p11 و P10 را درایه های ترسالی تشکیل می‌دهد.

طبق جدول (۳) حداقل احتمال وقوع p00 در ایستگاه گنبد برای فصول زمستان، بهار، تابستان و پائیز با احتمال ۵۱ درصد است. و حداکثر آن مربوط به ایستگاه هاشم آباد گرگان در فصل زمستان با احتمال ۵۶ درصد است.

حداقل وقوع p11 در ایستگاه مراوه تپه برای فصول پائیز، زمستان، بهار، تابستان با احتمال ۴۵ درصد و حداکثر آن مربوط به ایستگاه هاشم آباد گرگان در فصل زمستان با احتمال ۵۳ درصد می باشد.

جدول ۴- ویژگی های دوره های خشک و مرطوب ایستگاه‌های مورد مطالعه

طول چرخه	طول دوره		احتمالات اقلیمی		احتمالات ساکن		تعداد ماههای		خصوصیات نام ایستگاه
	مرطوب	خشک	فصول مرطوب	فصول خشک	فصول مرطوب	فصول خشک	مرطوب	خشک	
۵/۷۲	۲/۷۸	۲/۹۴	%۴۹	%۵۱	%۴۹	%۵۱	۵۹	۶۱	هاشم آباد
۳/۷۷	۱/۸۵	۱/۹۲	%۴۹	%۵۱	%۴۹/۵	%۵۰/۵	۵۹	۶۱	گنبد
۴/۳۴	۱/۹۶	۲/۳۸	%۴۵	%۵۵	%۴۷	%۵۳	۵۶	۶۴	مراوه تپه
۳/۶۶	۱/۶۶	۲	%۵۴/۵	%۵۴/۵	%۴۶	%۵۴	۵۵	۶۵	تنگراه
۳/۹۵۵	۱/۸	۲/۱۳	%۴۶	%۵۴	%۴۷	%۵۳	۵۶	۶۴	تمر
۳/۶	۱/۶۴	۱/۹۶	%۴۴/۵	%۵۵/۵	%۴۵	%۵۵	۵۴	۶۶	تیل آباد
۴/۴	۲/۱۳	۲/۲۷	%۴۸	%۵۲	%۴۷/۵	%۵۲/۵	۵۷	۶۳	اراز کوسه
۳/۹۴	۱/۸	۲/۱۳	%۴۶	%۵۴	%۴۶	%۵۴	۵۵	۶۵	تر شکلی
۴/۶۶	۲/۲۲	۲/۴۴	%۴۸	%۵۲	%۴۷/۵	%۵۲/۵	۵۷	۶۳	اینچه برون
۳/۹۶	۱/۸۸	۲	%۴۷/۵	%۵۲/۵	%۴۷/۵	%۵۲/۵	۵۷	۶۳	غفار حاجی

بیشترین فراوانی ماه مرطوب در ایستگاههای هاشم آباد، گنبد با ۵۹ ماه می باشد.

در بررسی طول دوره های خشک و مرطوب مطابق (جدول ۴) طول دوره های خشک در کلیه ایستگاهها بیش از طول دوره مرطوب است ولی اختلاف موجود بسیار جزئی است بطور که اگر اعداد را روند کنیم با هم برابر می باشند.

طول دوره های خشک و مرطوب در ایستگاه هاشم آباد ۳ فصل می باشد که بیشترین طول دوره را دارا می باشد که با هم یک چرخه ۶ فصل را تشکیل می دهند و حداقل آن در ایستگاه تیل آباد با طول دوره خشک ۱/۹۶ فصل و دوره مرطوب ۱/۶۴ فصل می باشد.

مقایسه احتمالات ساکن و احتمالات اقلیمی مطابق (جدول ۴) حاکی از آن است که این احتمالات تفاوتی چندانی با یکدیگر ندارد. فقط در ایستگاه مراوه تپه با اختلاف ۲ درصدی، تنگراه و تیل آباد ۰/۵ درصدی می باشد که این اختلافات جزئی بوده لذا می توان نتیجه گرفت که احتمال اقلیمی حاصل از مدل زنجیره مارکف توانایی برآورد احتمالات فصول خشک و مرطوب دارد.

مقایسه فراوانی ماههای خشک و مرطوب مطابق (جدول ۴) که در تمامی ایستگاهها فراوانی ماه خشک بیشتر از مرطوب است و بیشترین فراوانی ماه خشک به ترتیب در ایستگاه تیل آباد، تر شکلی، تنگراه با ۶۶، ۶۵، ۶۵ ماه می باشد. و

نتایج تحقیق

گنبد P01 (احتمال وقوع یک فصل خشک بعد از یک فصل مرطوب) به ترتیب ۴۲، ۵۰، ۴۷، ۵۱، ۴۴، ۴۷، ۴۱، ۴۸، ۳۴، ۵۲، درصد است که بیشتری آن مربوط به ایستگاه گنبد و کمترین آن مربوط به ایستگاه هاشم آباد گرگان است.

پس می‌توان نتیجه گرفت که در ایستگاه هاشم آباد گرگان اگر یک فصل مرطوب باشد پایداری آن برای فصل بعد نیز وجود دارد اما در ایستگاه گنبد اگر فصل مرطوب باشد پایداری آن کم بوده و با احتمال ۵۲ درصد فصل بعد خشک خواهد شد.

در ایستگاه گنبد درصد وقوع خشکسالی نسبت به بقیه ایستگاهها بیشتر می‌باشد. در ایستگاه‌های مراوه تپه، تنگراه، تمر، تیل آباد، ارازکوسه، ترشکلی، اینچه برون، غفارحاجی، گرگان و گنبد احتمال وقوع P10 (یعنی احتمال وقوع یک فصل مرطوب بعد از یک فصل خشک) به ترتیب ۵۱-۵۵، ۵۱-۶۰، ۵۵-۶۰، ۵۴-۶۱، ۴۷-۵۲، ۵۴-۵۵، ۴۵-۵۲، ۴۵-۵۳، ۵۲، ۳۶-۵۱، ۵۱-۵۴ درصد است که بیشترین آن مربوط به ایستگاه تیل آباد با ۶۱ درصد و کمترین آن مربوط به ایستگاه گرگان با ۳۶ درصد است.

بیشترین درصد P11 (احتمال وقوع یک فصل مرطوب بعد از یک فصل مرطوب) مربوط به ایستگاه هاشم آباد با ۶۴ درصد و کمترین آن در ایستگاه تیل آباد با ۳۹ درصد است.

نتیجه گیری

در بررسی نتایج حاصل از مقایسه احتمالات ساکن و اقلیمی (جداول ۳ و ۴)، این دو تفاوت چندانی با هم ندارند و می‌توان نتیجه گرفت که نتایج احتمالات اقلیمی حاصل از مدل زنجیره مارکف توانایی برآورد احتمالات وقوع فصول خشک و تر را دارد و آن چه که از این احتمالات می‌توان مشاهده کرد احتمال وقوع بالای ۵۰ درصد خشکسالی‌ها در کلیه ایستگاههای مورد مطالعه است.

با توجه به اینکه فصل زمستان مرطوبترین فصل و بیشترین فراوانی وقوع ترسالی را دارد اما در بعضی از سالها خشک فصلی به وقوع پیوسته در اغلب ایستگاهها در این فصل اتفاق افتاده است به عنوان مثال در ایستگاه گرگان شدیدترین خشکسالی به وقوع پیوسته در زمستان ۲۰۰۶ با شاخص

۱- وقوع پدیده خشکسالی در کلیه ایستگاه های مورد مطالعه به جزء ایستگاه اینچه برون نسبت به پدیده ترسالی بیشتر بوده است.

۲- با توجه به دوره ۳۰ ساله مورد مطالعه فصل خشک ۶۳۴ بار و فصل مرطوب ۵۶۶ بار اتفاق افتاده نشان از افزایش دوره های خشکسالی دارد و اینکه دوام آن نیز افزایش پیدا کرده است.

۳- دوام خشکسالی در کلیه ایستگاه ها به جز اینچه برون و تنگراه نسبت به ترسالی بیشتر بوده که بیشترین طول پایداری مربوط به ایستگاههای تمر و ترشکلی با ۲۱ فصل پیاپی که در آن شدت وقوع تا شاخص SPI ۱,۵- (وضعیت بسیار خشک) نیز رسیده است.

۴- در ایستگاه گرگان از سال ۲۰۰۵ یک دوره طولانی خشکسالی وجود دارد که فقط در زمستان ۲۰۰۶ یک فصل مرطوب وجود داشته است یعنی در طی ۱۴ فصل آخر فقط یک فصل مرطوب بوده است در این دوره شدیدترین خشکسالی با شاخص SPI ۳- (شدیدا خشک) که در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه بی سابقه بوده رخ داده است.

۵- در ایستگاه گنبد نیز مثل ایستگاه گرگان از سال ۲۰۰۵ یک روند خشکسالی مشاهده می‌شود در طی ۱۴ فصل آخر فقط ۴ فصل از ترسالی برخوردار بوده است و بیشترین حد خشکسالی رخ داده در این دوره تا نزدیک شاخص SPI ۲- (شدیدا خشک) نیز رسیده است.

نتایج ماتریس‌های احتمال انتقال

۱- در تمامی ایستگاه های مورد مطالعه P00 (احتمال وقوع یک فصل خشک بعد از یک فصل خشک) بالای ۵۰ درصد می‌باشد به جز (تیل آباد) که بیشترین آن مربوط به ایستگاه هاشم‌آباد گرگان با احتمال ۶۶ درصد است. این نشان می‌دهد که دوام خشکسالی‌ها در استان طولانی مدت می‌باشد.

۲- در ایستگاه‌های مراوه تپه، تنگراه، تمر، تیل آباد، ارازکوسه، ترشکلی، اینچه برون، غفارحاجی، گرگان و

2. Dostan, Reza .1395. An Analysis of Some Times of Iran in the Last Half Century, *Climate Studies* 1394, No. 23 18-1.
3. Siasar, Hadi and Farideh Shahrदारazi, 2015, *Drought Monitoring and Prediction Using SPI Drought Index and Markov Chain (Case Study: Iranshahr County)*, 3rd International Conference on New Achievements in Engineering and Basic Sciences, Europe, Ukraine, Earth Research Center Cow, London Society of Engineering.
4. Sadeghia Nia, Alireza ,hjazizadeh, Zahra, Hamidianpour, Mohsen and Poursarbandan, rahebeh. 1392. Estimation of drought and drought probabilities using SPI index and Markov chain model. Case study Tehran, *Geographical Space* No. 43, 1392 81-65.
5. Mehri, Sonia , Haji, Khadijeh , Alizadeh, Varia, Mostafazadeh, Rauf .1394. Evaluation of spatial variations of intensity of meteorological drought periods in different time scales in Kurdistan province, *Geographical Information (Sephehr)* Volume 26 no 102 1396 162-151.
6. Moghadam, H and Partners. 1380. Drought monitoring based on the profile of decay and normal SPI in Sistan and Baluchestan province, Volume 3 80-69 *Proceedings of the first conference of Zabul water crisis response strategies*.
7. Yousefi, N and Hejam, S and Irannejhad, P., 1384. Estimation of drought and probability probabilities using Markov chain and normal distribution (Qazvin case study) *Geographic researches* No. 60, Summer 86 28 -121.

۲،۹۸- اتفاق افتاده است که در طول دوره مطالعه بی سابقه بوده در صورتی که زمستان مرطوبترین فصل و بیشترین فراوانی فصل مرطوب در کل استان است به نظر می‌رسد این نوع تغییرات ناشی از تغییرات اقلیمی باشد که احتیاج به بررسی‌های بیشتری دارد.

با توجه به بررسی‌های انجام شده و نتایج حاصل از تحلیل خشکسالی در استان گلستان نشان می‌دهد که طول دوره‌های خشک افزایش یافته که این با یافته‌های دانشمند و محمودی (۲۰۱۷) انطباق کامل دارد. و اینکه دوام خشکسالی‌ها از سال ۲۰۰۰ بیشتر شده و بیشترین شدت خشکسالی‌ها در محدوده سال‌های ۲۰۰-۲۰۰۸ و از سال ۷۹-۸۰ اتفاق افتاده است به طوری که از سال ۲۰۰۵ در ایستگاه گرگان، گنبد و غفار حاجی شدت و مدت بیشتری دارد.

بررسی نتایج طول دوام دوره‌های خشک در ایستگاه‌های مراوتپه ۷ فصل، تنگراه ۵ فصل، تمر ۲۱ فصل، تیل آباد ۵ فصل، اراز کوسه ۷ فصل، ترشکلی ۲۱ فصل، اینچه برون ۱۲ فصل، غفار حاجی ۸ فصل، گرگان ۷ فصل، گنبد ۶ فصل، می‌باشد که این نتایج نشان می‌دهد که دوام خشکسالی در ایستگاه‌های استان طولانی بوده و بیشترین آن در ایستگاه‌های تمبروترشکلی هر کدام با ۲۱ فصلی (۵ سال) متوالی است و بعد از این دو ایستگاه اینچه برون با ۱۲ فصل (۲،۵ سال) قرار دارد و کمترین آن در ایستگاه تیل آباد با ۵ فصل می‌باشد. بقیه ایستگاه‌ها نیز بین ۸-۵ فصل (۲ تا ۱/۵ سال) دارای خشکسالی می‌باشند.

با توجه به اینکه کمترین دوره خشکسالی بیش از یک سال و بیشترین آن بیش از ۵ سال به طول کشیده خشکسالی‌های استان در حال افزایش و تغییرات می‌باشد و این می‌تواند به بخش‌های کشاورزی و منابع آبی خطرات زیادی داشته باشد.

منابع

1. Hanafi, Ali and Khosh Akhlagh, Faramarz and Soltani, Ali. 1391. Analysis of droughts in Tehran province using SPI index and its prediction based on Markov chain model, *geography and stability of environment* No. 3, Volume 2 1391-1002.

14. Thyer, M. A, A. Y. Forst and G. akuczera (2006) parameterestimation and modelidentificotion for stochastic models of annuel hydrolojical data: is the observed record, lonj enoujh. Journal of hydrology. volnes 330. issues 1-2, 313-327.
15. T. skiris, G. vanjelis.H (2004) towared sadrought watch system based on spatial SPI. water resources manajment, 18:1.
8. Daneshmand, H. and P. Mahmoudi. 2017. Estimaion and assessment of temporal saatability of erio dicities of droughts in iran.water resources management, volume 31issue11, sepember pp3413-3426.
9. Iqtadari, Mehrnoosh, Bazrafshan, Javad, Shafiei, Maryam, Hijabi, Somayeh. Prediction of Streamflow Drought Using SPI and Markov Chain in Kharkkeh's Basin. Journal of Soil and Water Conservation Research 1395; 23(2): 115-130. doi: 10.22069/jwfst.2016.3058.
10. Kamasi, Mehdi, Malek Mahmoudi, Mehdi, Montaseri, Hossein.1396. Drought forecasting by SPI and EDI indices using ANFIS method based on C-mean and SC clustering (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province) Agricultural Meteorology,,: 1396; 5(1): 36-47. doi: 10.22125/agmj.2017.54982.
11. Madanchi, Peyman, Shahedi, Kaka, Habibnejad, Mahmoud, Soleimani, Karim, Fatehi Marj, Ahmad. Zoning Climatic Drought and Drought Magnitude Using SPI Index and Kirijing Geostatistical Method (Case Study: Kerman Province). Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, 1398; 10(2): 205-228. doi: 10.22125/iwe.2019.100753
12. Eullmoon, BoomRyoo, S, Gilkwon. 1994, Markov chin model for daily perepition accurrence in siuth korea, international jornal of clima tology 14, 1009 – 1016
13. Thyer, M. A, P. H. D thesis, university of Newcastle, Australia (2000, modeling lonj-term pesistncc in hydrolojical tim series.