توسعه یك مدل برای پایش و پیش بینی خشکسالی
(مطالعه موردی استان خراسان رضوی)

امین علیزاده* - شادی آشگر طوسی[1]

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۱/۲۵
تاریخ دریافت: ۸۷/۲/۲۸

چکیده

باتوجه به قرارگرفتن استان خراسان در ناحیه آب و هوایی خشک و نیمه خشک ایران و وقوع خشکسالی های مکرر در سالهای اخیر، اهمیت پرداختن به مقوله پیش بینی خشکسالی بیش از پیش آشکار می شود. یکی از روشهای دستیابی به این هدف مدل سازی بارندگی بر اساس روش زنجیره مارکوف می باشد. در این تحقیق جهت تعیین درجات خشکسالی از شاخص درصد از میانگین برای خشکسالی های سالانه و شاخص استاندارد شده بارش برای خشکسالی های ماهانه و از زنجیره مارکوف جهت پیش بینی خشکسالی استفاده گردیده است. پردازش داده ها توسط نرم افزار DMF صورت گرفته است. بدین منظور از آمار دراز مدت بارندگی ایستگاههای هواشناسی موجود در بانک اطلاعاتی نرم افزار استفاده شد. بعد از پایش وضعیت های خشکسالی و ترسالی در ایستگاههای سینوپتیک استان خراسان رضوی، وضعیت آب و هوایی برای سال ۲۰۰۸ پیش بینی گردید. نتایج حاصل از بررسی شاخص استاندارد شده بارش در مقیاس کوتاه مدت سه ماهه در ۳۰ سال گذشته نشان می دهد که تقریباً در تمام ایستگاهها وضعیت ترسالی ملایم بیشترین درصد وقوع را داشته است و بعد از آن خشکسالی های ملایم در رده بعدی قرار دارند. نتایج حاصل از پیش بینی سالانه برای سال ۲۰۰۸، نشان دهنده احتمال وقوع بیشتر وضعیت نرمال آب و هوایی در اکثر ایستگاههای استان خراسان رضوی می باشد. نتایج پیش بینی ماهانه نیز در برخی ایستگاهها بیانگر خشکسالی ملایم و در برخی دیگر ترسالی ملایم است.

واژه های کلیدی: خشکسالی، DMF، شاخص درصد از میانگین، شاخص استاندارد شده بارش، زنجیره مارکوف

مقدمه

خشکسالی پدیده ای آرام و خزنده است که معمولاً با کاهش بارندگی و رطوبت نسبی، همچنین افزایش درجه حرارت و سرعت باد همراه است (۶). در دهه های اخیر در میان حوادث طبیعی که جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار داده اند تعداد و فراوانی این پدیده بیش از سایر حوادث بوده است (۶). عواقب ناشی از این پدیده در بخشهای مختلف، بویژه بخش کشاورزی که عمده ترین مصرف کننده آب به شمار می رود خسارات زیادی وارد می نماید. به عنوان مثال بین سالهای ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۴ دولت استرالیا حدود ۹۲۵ میلیون دلار صرف جبران خسارات ناشی از خشکسالی کرد (۱۹) و یا آنکه دولت آفریقای جنوبی ۲٫۵ میلیارد دلار برای جبران خسارات خشکسالی در اواسط دهه ۱۹۷۰ تا نیمه دهه ۱۹۸۰ صرف نمود (۲۰). در استان خراسان نیز به دلیل خشکسالی های اخیر، خسارات زیادی بر بخشهای مختلف استان و خصوصاً بخش کشاورزی وارد شده است. به عنوان مثال در سال زراعی ۷۹-۷۸ به علت بارندگی کم و عدم بارش برف و یخبندان کافی ذخایر آبهای سطحی به شدت کاهش یافت و تولید مزارع که از منابع فوق آبیاری می شوند را تحت الشعاع قرار داد بطوریکه خسارات ناشی از عوامل نامساعد جوی در بخش زراعت معادل ۶۸۲٫۴ میلیارد ریال برآورد شد (۵). در بخش قنوات کشاورزی نیز با توجه به کاهش ۵۳ درصدی میزان بارندگی به منظور جبران خسارات خشکسالی و اثرات نامطلوب آن بر تعداد ۶۷۹۲ رشته قنات در بخشهای مرکزی و جنوبی استان به طول ۷۹۴۸ کیلومتر حداقل معادل ۶۸ میلیارد ریال اعتبار کسب شده است (۵). با توجه به عوامل ذکر شده، زمان آن فرا رسیده که مدیریت ریسک به عنوان مدیریت مناسب در هنگام وقوع

۱- به ترتیب استاد آبیاری دانشگاه فردوسی مشهد و کارشناس ارشد آبیاری، مهندسین مشاور طوس آب، مشهد
* نویسنده مسئول Email: Alizadeh@um.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

خشکسالی بطور گسترده و در سطح ملی مورد استفاده قرار گیرد. تهیه مقدمات احتمال وقوع خشکسالی به سیاستها و ارائه طرحهایی که برای آماده سازی در مقابل خشکسالی مفید است مربوط می شود. نتایج حاصل از این طرحها به کاهش خسارات ناشی از خشکسالی به عنوان یک بلای طبیعی منجر می شود که نهایتاً سبب می گردد تا مدیریت ریسک جایگزین مدیریت بحران گردد (۶). پیش بینی خشکسسالی به عنوان یکی از استراتژیهای 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 پیش بینی این پدیده توسط سازمانهای مرتبط صورت پذیرفته است. یکی از روشها جهت مدل سازی داده های بارندگی و پیش بینی خشکسالی استفاده از مدل های زنجیره مارکوف می باشد.

گابریل و نیومن از یک مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول برای تعیین احتمال وقوع روزهای خشک و تر با استفاده از داده های بارندگی روزانه در منطقه ای در فلسطین اشغالی استفاده نمودند (۱۱). توماس و فیرینگ نیز اولین کسانی بودند که مدل مارکوف درجه ۱ را با تبدیل ویلسون هیلفرتی[1] جهت تولید داده های دبی پایه رودخانه به کار بردند(۱۷). اسریکانتان و مک ماهون نیز از یک مدل مارکوف درجهٔ ۱ با استفاده از فرآیند تبدیلی ویلسون هیلفرتی جهت ایجاد بارندگی سالانه استفاده کردند (۱۶). تامسون از مدل زنجیره مارکوف مرتبه ۱ و شاخص پالمر جهت تعیین ماتریس احتمال انتقال و پهنه بندی احتمال وقوع وضعیتهای خشکسالی، ترسالی و نرمال با استفاده از داده های بارندگی ماهانه در طی سالهای ۱۹۸۸-۱۸۹۵ در ایالت متحده مرکزی استفاده نمود. وی نشان داد که پرش از یک وضعیت کاملاً قطعی (مثلاً وضعیت خیلی مرطوب) به وضعیت قطعی دیگر (مثلاً خیلی خشک) تقریباً صفر است. او با ضرب کردن متوالی ماتریس انتقال در خودش، ماتریس تعادل را در این منطقه به دست آورد. همچنین نتیجه گرفت که پایداری خشکسالی های شدید در منطقه از دیگر وضعیتها بیشتر است (۱۸). جیماه و وبستر مرتبه بهینه مدل زنجیره مارکوف را برای وقوع بارندگی های روزانه در ۵ منطقه در نیجریه بدست آوردند. آنها به این نتیجه رسیدند که مدل مرتبه اول نسبت به مدل مرتبه صفر مناسبتر است و تفاوت قابل ملاحظه ای بین رفتار مدل مرتبه اول و دوم مشاهده نکردند (۱۳). محققین مذکور همچنین نوسانهای احتمال وقوع روزهای خشک و تر را با کمک یک مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول در ۷ منطقه در نیجریه بررسی کردند و متوجه وجود یک اختلاف منظم و با قاعده در P۰۱ (احتمال این که بعد از یک روز مرطوب، یک روز خشک باشد) در داخل یک سال با حرکت از مناطق جنوبی به سمت شمال نیجریه شدند. آنها دریافتند که یک اختلاف محلی خیلی کمی نیز در P۱۱ وجود دارد (احتمال این که بعد از یک روز خشک مجدداً یک روز خشک باشد) (۱۴).

عدل از مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول، جهت تعیین احتمالات تأمین آب از دریاچه سد امیر کبیر استفاده کرد. وی نتیجه گرفت که احتمال کمبود آب دریاچه در درازمدت به کمک آمار ۲۱ ساله ۲٪ است (۴). جعفری بهی نیز از یک مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول در مدل سازی روزهای خشک و تر در ایستگاههای هواشناسی بوشهر، شیراز، اصفهان، کرج و بندر انزلی در طی دورهٔ آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۵-۱۹۶۵) استفاده کرد. وی فراوانی موسم های خشکی که m روز یا بیشتر طول می کشد را برای تمام ماهها و در تمامی ایستگاهها محاسبه کرد و نتیجه گرفت که بندر انزلی با ۳/۳ روز طول موسم تر مورد انتظار در ماه نوامبر، بیشترین و اصفهان در ماههای فوریه و مارس با ۱/۶ روز، کمترین طول موسم تر را دارا می باشد. او همچنین دوره برگشت خشکسالی های m روزه را در این ایستگاهها بررسی نمود و به این نتیجه رسید که در تمام ماهها با یک دوره برگشت ثابت، در ایستگاه بندر انزلی موسم خشک کوتاه مدت تری اتفاق می افتد و بعد از آن کرج در مرتبه دوم قرار دارد (۱). زارعی و شاهکار، نیز از یک مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول در بدست آوردن ماتریس های فراوانی و احتمال انتقال بارندگیهای روزانه در ماههای پرباران سال در ۳ ایستگاه خرمدره، زشک و ارداك در استان سیستان و بلوچستان استفاده کردند (۳). حقیقت جو و شامحمدی حیدری از یک مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول، جهت تعیین ۷ وضعیت مختلف احتمالاتی (خیلی خشک، خشک، نیمه خشک، متوسط، نیمه مرطوب، مرطوب و خیلی مرطوب) با توجه به بده سالانه رودخانه هیرمند و آمار ۴۶ ساله(۱۹۹۷-۱۹۵۲) استفاده نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که احتمال وقوع خشکسالی ها

1) Wilson- Hilferty

Archive of SID

www.SID.ir

در دراز مدت ۴۷/۵٪، احتمال ترسالیها ۳۵٪ و در بقیه موارد یعنی ۱۷/۵٪ جریان متوسط وجود دارد (۲).

به منظور درجه بندی شدت خشکسالی نیز شاخصهای متعددی وجود دارد که از میان آنها شاخص درصد از نرمال و شاخص استاندارد شده بارش یا SPI[1] کاربرد فراوانی دارند. در زمینه استفاده از شاخص استاندارد شده بارش در درجه بندی شدت خشکسالی نیز مطالعات زیادی در کشورهای مختلف صورت پذیرفته است. قابلیت پایش SPI نزدیک به زمان واقعی باعث شده است تا محققان با تلفیق آن با دیگر روشها نتایج مطلوبتری بدست آورند. استفاده کنندگان از شاخص SPI در دنیا رو به افزایش است. در کشور ترکیه و در آفریقا از این شاخص در پایش خشکسالی استفاده شده است (۱۵). همچنین گروههای دیگری مانند مرکز آب و هوایی کلرادو، مرکز اقلیم منطقه غرب(WRCC) و مرکز ملی کاهش خشکسالی در ایالات متحده از این شاخص استفاده می نمایند (۱۲). نقشه های پهنه بندی ماهانه توسط این شاخص نیز در کلرادو از طریق وب سایت (http://ulysses.atmos.colostate edu/SPI.html) قابل دسترسی می باشد.

بوردی و همکاران، از شاخص استاندارد شده بارش جهت رسم نقشه های پهنه بندی خشکسالی ماهانه در مقیاسهای زمانی کوتاه مدت، میان مدت و درازمدت در ایتالیا استفاده کردند (۹). برونینی و همکاران، نیز نشان دادند که شاخص استاندارد شده بارش جهت کمی کردن و مراقبت از خشکسالی می تواند بسیار مفید باشد. آنها همچنین نشان دادند که این شاخص و معادلات توازن آب، در مقیاس ماهانه همخوانی بسیار خوبی با یکدیگر دارند و می توان از روی ترکیب شاخص SPI و معادلات توازن آب، کمبود و مازاد رطوبتی در مراحل مختلف رشدی هر گیاه، تاریخ کشت هر محصول را به نحوی تغییر داد تا گیاهان از خشکسالی صدمه نبینند، آنها همچنین احتمال دریافت نیاز آبی هر گیاه در مراحل مختلف رشد را با توجه به تاریخهای کشت مختلف برای چند محصول در برزیل مورد بررسی قرار دادند و بر این اساس بهترین تاریخ کشت را برای هر محصول انتخاب کردند (۱۰). کمال سونمز و همکاران نیز از شاخص استاندارد شده بارش در پهنه بندی حساسیت مناطق مختلف ترکیه به خشکسالی و در مقیاس های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه استفاده کردند. آنها همچنین آستانه وقوع خشکسالی را در هر منطقه در شرایطی که مقدار SPI=۰ به دست آوردند (۱۵). در زمینه ارزیابی و مقایسه شاخصهای درصد از نرمال و SPI نیز مطالعاتی در استانهای خراسان و سیستان و بلوچستان توسط سازمان هواشناسی انجام شده است. نتایج حاصله نشان داده که سنجش خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در مقایسه با شاخص درصد از نرمال جزئیات را بهتر نمایش می دهد (۷). نساجی زواره و صانعی نیز از شاخص SPI جهت پایش و درجه بندی شدت خشکسالی در مقیاسهای زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در ایستگاههای سینوپتیک زابل و اصفهان استفاده کردند (۸).

همان طور که عنوان گردید، پیش بینی خشکسالی به عنوان یکی از راهکارهای مدیریتی است که به برنامه ریزان و مسوولین سازمانهای مختلف کمک خواهد کرد تا برنامه ریزی صحیحی برای استفاده از منابع محدود آب را از هم اکنون فراهم نمایند، همچنین پیش بینی خشکسالی در ماههای آتی به کشاورزان کمک خواهد کرد تا با تغییر در تاریخ کشت محصولات و استفاده از ارقام مقاوم به خشکی خسارات ناشی از این پدیده را به حداقل برسانند.

هدف از این تحقیق مدل سازی داده های بارندگی به منظور پایش و پیش بینی خشکسالی با استفاده از روش آماری زنجیره مارکوف و دو شاخص درصد از نرمال و استاندارد شده بارش می باشد. بدین منظور استان خراسان رضوی به عنوان مطالعه موردی انتخاب و داده های بارندگی مربوط به آن تا سال ۲۰۰۷ گردآوری گردید سپس با استفاده از روش زنجیره مارکوف وضعیت آب و هوایی برای سال ۲۰۰۸ ایستگاههای این استان پیش بینی گردید. جهت پردازش داده ها از نرم افزار تخصصی DMF استفاده شده است که توضیحات مربوطه در بخش مواد و روشها ارائه می گردد.

مواد و روشها

در این تحقیق به منظور دستیابی به اهداف ذکر شده به روش زیر عمل شده است.

در مرحله اول اقدام به گردآوری داده های بارش ماهانه ایستگاههای سینوپتیک استان خراسان رضوی از بدو تأسیس تا

1) Standard Precipitation Index

Archive of SID

www.SID.ir

پایان سال ۲۰۰۷ گردید. سپس از طریق بازسازی آماری، نواقص داده های بارندگی ماهانه ایستگاهها مرتفع و نهایتاً یک دوره آماری در بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۰۷-۱۹۷۷) انتخاب شد. به منظور طبقه بندی اقلیمی هر ایستگاه از دو شاخص درصد از نرمال (برای طبقه بندی خشکسالی سالانه) و شاخص SPI (برای طبقه بندی خشکسالی ماهانه) استفاده گردید، همچنین روش زنجیره مارکوف جهت بررسی احتمال وقوع وضعیت های مختلف آب و هوایی به کار گرفته شد. در نهایت با استفاده از نرم افزار طراحی شده، فرآیند پایش برای سالهای آماری موجود و پیش بینی خشکسالی برای سال ۲۰۰۸ انجام گرفت. در زیر خلاصه ای از روند مراحل فوق تشریح می گردد.

شاخص استاندارد شده بارش

این شاخص بر اساس ثبت بارشهای طولانی مدت در پریودهای زمانی مختلف (۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ... ماهه) پایه گذاری شده است. جهت تعیین شاخص استاندارد شده بارش تنها از مقادیر بارندگی ماهانه هر ایستگاه در طول دوره آماری طولانی مدت، (حداقل ۳۰ سال) استفاده می شود، در این شاخص، ابتدا مقادیر بارندگی ماهانه هر ایستگاه برای هر یک از مقیاسهای زمانی مورد نظر (... ، ۲۴ ، ۱۲ ، ۹ ، ۶ ، ۳ ، ۱) محاسبه می گردد، مثلاً در مقیاس ۳ ماهه جمع هر یک از بارندگی های ماههای فروردین، اردیبهشت و خرداد به عنوان شاخص بارندگی در ماه خرداد منظور می شود، به همین ترتیب مجموع بارندگی های اردیبهشت، خرداد و تیر به عنوان شاخص بارندگی ماه تیر و الی آخر. بدین ترتیب یک سری زمانی بارندگی در طول دوره آماری هر ایستگاه به دست می آید که مقادیر بارندگی هر ماه در حقیقت مجموع بارندگی ماه مورد نظر و دو ماه قبل از آن می باشد. در مقیاس ۶ ماهه نیز مجموع بارندگی هر ماه و ۵ ماه قبل آن نیز به عنوان شاخص بارندگی هر ماه منظور می شود و برای سایر مقیاس ها نیز به طور مشابه سری زمانی بارندگی های تجمعی برای هر ماه محاسبه می شود. سپس مقادیر بارندگی های تجمعی در هر ماه به یک توزیع احتمال گامای ناقص برازش داده می شود. 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 با میانگین صفر و واریانس ۱ تبدیل می گردد که این متغیر تصادفی در حقیقت همان مقدار SPI مورد نظر می باشد (۹). طبقه بندی درجات خشکسالی و ترسالی با استفاده از این شاخص به صورت جدول ۱ ارائه می گردد.

جدول(۱) مقادیر شاخص استاندارد شده بارش و رطوبت و خشکی متناظر آن (۱۲)

وضعیت آب و هوایی	شاخص استاندارد
رطوبت خیلی شدید	≥+۲
رطوبت شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
رطوبت متوسط	۱ تا ۱/۴۹
رطوبت کم	۰ تا ۰/۹۹
خشکسالی کم	۰/۹۹- تا ۰
خشکسالی متوسط	۱/۴۹- تا ۱-
خشکسالی زیاد	۱/۹۹- تا ۱/۵-
خشکسالی خیلی زیاد	≤-۲

مقدار شاخص استاندارد شده بارش مثبت نمایانگر بارش بیشتر از متوسط و مقدار منفی آن بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط می باشد. زمانی که مقدار شاخص محاسبه شده منفی باشد، نشانه شروع خشکسالی است و هنگامی که این شاخص مثبت باشد، پایان خشکسالی را نوید می دهد. شدت یک دوره خشکسالی، مجموع مقادیر شاخص استاندارد شده مثبت برای همه ماهها در همان دوره خشکسالی می باشد (۹).

شاخص درصد از نرمال

در تقسیم بندی شدت خشکسالی و ترسالی با استفاده از این شاخص از توصیه های مهندسین مشاور کوانتا استفاده گردید. بر این اساس تقسیم بندی انواع شدت های خشکسالی و تر سالی به صورت زیر ارائه گردیده است.

$$S = \frac{\text{میانگین دراز مدت بارندگی سالانه - بارندگی سالانه}}{\text{میانگین بارندگی دراز مدت سالانه}} \quad (۱)$$

زنجیره مارکوف

مدل زنجیره مارکوف یک تکنیک ریاضی جهت مدل سازی پدیده های تصادفی می باشد که توالی از مشاهدات را در طول زمان نشان می دهد. وابستگی این زنجیره به زمان یا از طریق ضرایب همبستگی سری و یا با استفاده از ماتریس های احتمال انتقال بیان

Archive of SID

www.SID.ir

جدول(۲) درجه بندی شدت خشکسالی براساس روش درصد از نرمال

وضعیت آب و هوایی	شاخص درصد از نرمال
خیلی مرطوب	> ۰/۳
نسبتاً مرطوب	۰/۱ تا ۰/۳
نزدیک نرمال	۰/۱- تا ۰/۱+
نسبتاً خشک	۰/۱- تا ۰/۳-
خیلی خشک	< ۰/۳-

می شود (۱۸). با کمک این ماتریس می توان وضعیت های مختلف را در دوره های زمانی آتی با استفاده از سری دراز مدت گذشته پیش بینی نمود. آنچه در این تحقیق مورد استفاده قرار می گیرد، ماتریس های احتمال انتقال برای بیان وقوع پدیده های خشک و مرطوب می باشد. از ضرب مکرر ماتریس های احتمال در ماتریس اولیه، ماتریس احتمال تغییر وضعیت آب و هوایی در n ماه یا سال آینده به دست می آید. که جهت پیش بینی خشکسالی یا تر سالی در ماهها یا سالهای آتی استفاده می شود.

پایش خشکسالی و ترسالی

منظور از پایش یک وضعیت آب و هوایی در یک منطقه، بررسی آن وضعیت در سری زمانی آمار موجود در آن منطقه می باشد. به عنوان مثال پایش وضعیت خشکسالی در یک منطقه، بیانگر مقایسه تعداد دفعات وقوع یا درصد وقوع خشکسالی در یک دوره آماری شاخص در آن منطقه است.

در این تحقیق شاخص حساسیت به خشکسالی ماهانه SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه و شاخص درصد از نرمال به منظور تعیین درجات خشکسالی یا ترسالی به صورت سالانه، همچنین ماتریس فراوانی خشکسالی و ترسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش در مقیاس کوتاه مدت ۳ ماهه برای ایستگاههای سینوپتیک استان خراسان رضوی محاسبه گردید. سپس با استفاده از ماتریس فراوانی، درصد وقوع هر یک از وضعیت های خشکسالی یا ترسالی در طی ۳۰ سال گذشته برای هر یک از ایستگاهها تعیین و با استفاده از ماتریس احتمال انتقال و مشخص بودن وضعیت آب و هوایی در ماه دسامبر سال ۲۰۰۷ در هر یک از ایستگاهها، احتمال وقوع هر یک از وضعیت های آب و هوایی برای سال ۲۰۰۸ به صورت سالانه (با شاخص درصد از میانگین) و ماهانه (با شاخص استاندارد شده بارش) پیش بینی گردید. کلیه فرآیند های فوق جهت پردازش داده های ورودی توسط نرم افزار DMF قابل انجام می باشد.

معرفی نرم افزار DMF [1]

نرم افزار DMF[2] یک نرم افزار تخصصی جهت پیش بینی و پایش وقوع خشکسالی با استفاده از شاخصهای درصد از نرمال و استاندارد شده بارش می باشد. در بانک اطلاعاتی این نرم افزار، آمار بارندگی ماهانه ۱۵۳ ایستگاه سینوپتیک در ۲۸ استان کشور از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۴ میلادی موجود بوده و قابلیت به روز شدن آمار نیز وجود دارد، همچنین در مواردی که آمار بارندگی ایستگاهها موجود نمی باشد، نرم افزار توانایی کامل کردن دوره آماری از طریق جایگزینی آمار با میانگین دراز مدت بارندگی ماههای متناظر را دارد.

در نرم افزار طراحی شده نمایه های خشکسالی ماهانه و سالانه با استفاده از دو شاخص درصد از نرمال و شاخص استاندارد شده بارش قابل محاسبه است که خروجی آن به صورت جدول نمایه خشکسالی ماهانه و سالانه می باشد. ماتریسهای احتمال انتقال نیز برای این دو شاخص قابل محاسبه می باشند. علاوه بر آن در این نرم افزار، ماتریس احتمال انتقال n مرحله بعد که در حقیقت با ضرب ماتریس احتمال انتقال به تعداد $n-1$ بار در خودش حاصل می شود نیز قابل محاسبه است. همچنین در این نرم افزار می توان ماتریس فراوانی وقوع را بر اساس شاخص استاندارد شده بارش در مقیاسهای زمانی مختلف به دست آورد. این ماتریس در حقیقت بیانگر تعداد پرش از وضعیتهای مختلف ترسالی یا خشکسالی در طی سالهای آماری موجود در بانک اطلاعاتی هر ایستگاه می باشد. با در دست داشتن این ماتریس می توان مشخص نمود که در طی سالهای گذشته وضعیت ایستگاه به لحاظ خشکسالی یا ترسالی چگونه بوده است. بدین صورت که با شمارش یک وضعیت

1) Drough Monitoring and Forecasting

۲) این نرم افزار توسط مؤلفین مقاله برنامه نویسی و تهیه شده است. علاقه مندان می توانند جهت دریافت این نرم افزار با آدرس الکترونیکی Shtoosi@yahoo.co مکاتبه نمایند.

Archive of SID

www.SID.ir

مشخص آب و هوایی در سالهای آماری گذشته و تقسیم آن بر تعداد کل وضعیت های به وقوع پیوسته، درصد وقوع آن وضعیت در سالهای آماری گذشته تعیین می گردد.

در این تحقیق پردازش داده های مربوط به آمار بارندگی ماهانه ۳۰ ساله ایستگاههای سینوپتیک خراسان رضوی توسط این نرم افزار انجام گردید که نتایج آن در زیر ارائه می گردد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از این تحقیق منجر به تهیه نقشه پهنه بندی احتمالات وقوع سه وضعیت مختلف ترسالی، خشکسالی و نرمال در سال ۲۰۰۸ گردید. تحلیل نتایج به دست آمده در این قسمت ارائه می گردد.

بررسی پایش خشکسالی با استفاده از ماتریسهای فراوانی وقوع

درصد وقوع هر یک از وضعیت های مختلف خشکسالی یا ترسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش در مقیاس زمانی سه ماهه در ایستگاههای استان خراسان رضوی محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۳ ارائه گردیده است.

به طور کلی در مقیاس زمانی سه ماهه هر چه شدت خشکسالی بیشتر می شود، فراوانی و احتمال وقوع آن نیز کاهش می یابد. بررسی نتایج حساسیت به خشکسالی ها در مقیاس کوتاه مدت نشان می دهد که تربت حیدریه و سپس نیشابور بیشترین و گناباد کمترین خشکسالی ملایم را در طی ۳۰ سال گذشته تجربه کرده اند. همچنین قوچان بیشترین حساسیت به خشکسالی متوسط را در بین ایستگاههای مورد بررسی داشته و تربت جام، سرخس و نیشابور کمترین میزان خشکسالی های متوسط را در ۳۰ سال گذشته تجربه کرده اند. در مورد خشکسالی شدید نیز گلمکان بیشترین و سبزوار کمترین خشکسالی را تجربه کرده اند و بالاخره در مقیاس خشکسالی خیلی شدید نیشابور بیشترین و تربت جام کمترین میزان خشکسالی را در سالهای مورد بررسی داشته اند. مطابق این جدول، به طور کلی نتایج حاصل از بررسی وضعیت شاخص SPI سه ماهه در ۳۰ سال گذشته نشان می دهد که تقریباً در تمام ایستگاهها وضعیت ترسالی ملایم بیشترین درصد وقوع را داشته است و بعد از آن خشکسالی های ملایم در رده بعدی قرار دارند.

پیش بینی وقوع شرایط مختلف آب و هوایی در سال ۲۰۰۸

همان طور که عنوان شد با استفاده از ماتریسهای احتمال انتقال می توان احتمالات مختلف خشکسالی یا ترسالی را در ماهها و سالهای آینده با توجه به وضعیت آخرین سال یا ماه موجود پیش بینی نمود. در مقیاس سالانه با استفاده از شاخص درصد از میانگین و روش زنجیره مارکوف و با کمک برنامه DMF احتمال وقوع خشکسالی و ترسالی در سال ۲۰۰۸ برای تمام ایستگاههای سینوپتیک موجود در استان خراسان رضوی بررسی گردید که نتایج مربوط به پیش بینی های سالانه در جدول ۴ ارائه گردیده است. در مقیاس ماهانه با ضرب کردن مکرر ماتریس احتمال انتقال به دفعات مختلف در خودش می توان احتمال وقوع هر یک از وضعیت های آب و هوایی را در ماههای آتی پیش بینی نمود که این قابلیت در نرم افزار DMF پیش بینی شده است. به عنوان نمونه نتایج پیش بینیهای ماهانه بدست آمده برای سال ۲۰۰۸ میلادی با توجه به وضعیت درجه بندی خشکسالی یا ترسالی در ماه دسامبر سال ۲۰۰۷ در جدول ۵ ارائه شده است. لازم به ذکر است به دلیل پایین بودن احتمالات در خشکسالی های شدید و خیلی شدید ماهانه، تقسیم بندی شدت خشکسالی و تر سالی در چهار گروه خشکسالی ملایم (مجموع احتمالات خشکسالی کم و متوسط)، خشکسالی شدید (مجموع خشکسالی شدید و خیلی شدید)، ترسالی ملایم (مجموع ترسالی ملایم و متوسط) و ترسالی شدید (مجموع تر سالی شدید و خیلی شدید) انجام شده است. شکل ۱ نیز پهنه بندی سه وضعیت خشکسالی، ترسالی و نرمال را برای سال ۲۰۰۸ بر اساس شاخص درصد از میانگین و نتایج جدول ۴ نشان می دهد. در تهیه این نقشه ها نیز مجموع احتمالات خشکسالی ملایم و شدید با عنوان طبقات پهنه بندی خشکسالی و مجموع احتمالات ترسالی ملایم و شدید نیز تحت عنوان طبقات پهنه بندی ترسالی درنظر گرفته شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده از مدل پیش بینی سالانه، همان طور که در جدول ۴ نیز مشاهده می شود در سال ۲۰۰۸ برای اکثر ایستگاههای استان خراسان رضوی وضعیت نرمال احتمال وقوع بیشتری در مقایسه با دیگر وضعیت های آب و هوایی خواهد داشت و تنها در ایستگاههای تربت حیدریه و قوچان احتمال وقوع خشکسالی ملایم بیشتر از دیگر وضعیتها می باشد و همچنین در ایستگاه گناباد احتمال وقوع خشکسالی شدید بیشتر از دیگر

Archive of SID

www.SID.ir

جدول(۳) درصد فراوانی یا حساسیت به خشکسالی ها و ترسالی ها بر اساس SPI سه ماهه در ایستگاههای سینوپتیک استان خراسان رضوی در سالهای آماری گذشته

ایستگاه	خشکسالی ملایم	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی خیلی شدید	ترسالی ملایم	ترسالی متوسط	ترسالی شدید	ترسالی خیلی شدید
تربت حیدریه	۳۸/۵	۵/۷	۳	۲/۲	۳۵	۸/۹	۵/۴	۱/۴
تربت جام	۲۷/۶	۵/۴	۳	۱/۶	۴۵/۵	۱۰/۸	۴/۶	۱/۴
سبزوار	۳۵	۸/۴	۱/۶	۳	۳۶/۹	۹/۲	۴/۱	۱/۹
سرخس	۲۸/۷	۵/۴	۲/۴	۲/۴	۴۶/۶	۸/۴	۴/۱	۱/۹
قوچان	۳۱/۷	۹/۵	۴/۳	۲/۴	۳۶/۳	۱۰/۶	۴/۱	۱/۱
کاشمر	۳۰/۹	۶/۵	۳/۳	۱/۹	۴۲	۸/۷	۴/۳	۲/۴
گلمکان	۳۲/۲	۸/۷	۴/۹	۱/۹	۳۵/۵	۹/۵	۵/۱	۲/۲
گناباد	۲۷/۴	۶/۸	۳	۱/۹	۴۵/۳	۹/۵	۴/۳	۱/۹
مشهد	۳۳/۱	۸/۹	۴/۱	۱/۹	۳۳/۹	۱۰	۶/۲	۱/۹
نیشابور	۳۷/۱	۵/۴	۲/۴	۳/۳	۳۷/۱	۸/۹	۳/۵	۲/۲

وضعیت های آب و هوایی پیش بینی می شود.

در مقیاس ماهانه نیز همانطور که در جدول ۵ مشاهده می شود، در ایستگاههای تربت جام، سرخس، کاشمر و گناباد (به استثنای ماه ژانویه) احتمال وقوع ترسالی ملایم بیشتر از سایر حالتها می باشد و تنها در ایستگاه تربت حیدریه احتمال وقوع خشکسالی ملایم در تمام ماهها بیشتر از دیگر وضعیت های آب و هوایی می باشد. در ایستگاه مشهد و نیشابور نیز از ژانویه تا ماه می احتمال وقوع خشکسالی ملایم و از جون تا دسامبر احتمال وقوع ترسالی ملایم بیشتر از دیگر وضعیت های آب و هوایی می باشد و در نهایت در ایستگاه های گلمکان و قوچان نیز از ژانویه تا مارس احتمال وقوع خشکسالی ملایم و از آوریل تا دسامبر احتمال وقوع ترسالی ملایم بیشتر می باشد.

پیشنهادات

همان طور که عنوان گردید، در نرم افزار طراحی شده از مدل زنجیره مارکوف در پیش بینی های ماهانه و سالانه استفاده شده است. نتایج حاصل از تعیین ماتریس های احتمال انتقال نشان می دهد که دقت این ماتریس در چند ماه اول بالاتر بوده و هر چه زمان پیش بینی بیشتر می شود دقت این مدل کاهش می یابد، به طوری که عناصر ماتریس های احتمال انتقال بعد از چندین بار

جدول(۴) احتمال وقوع حالتهای مختلف ترسالی و خشکسالی در سال ۲۰۰۸ بر اساس شاخص درصد از میانگین

ایستگاه	خشکسالی ملایم	خشکسالی شدید	نرمال	ترسالی ملایم	ترسالی شدید
تربت‌حیدریه	۳۴	۲۲	۲۲	۲۲	۰
تربت‌جام	۱۷	۰	۴۹	۱۷	۱۷
سبزوار	۲۲	۱۱	۳۴	۳۳	۰
سرخس	۲۵	۱۲	۲۵	۲۵	۱۳
قوچان	۳۸		۲۵	۲۵	۱۲
کاشمر	۲۸	۱۴	۲۹	۲۹	۰
گلمکان	۰	۰	۶۰	۴۰	۰
گناباد	۱۷	۳۳	۱۷	۱۶	۱۷
مشهد	۲۵	۲۵	۲۵	۰	۲۵
نیشابور	۲۵	۰	۵۰	۰	۲۵

Archive of SID

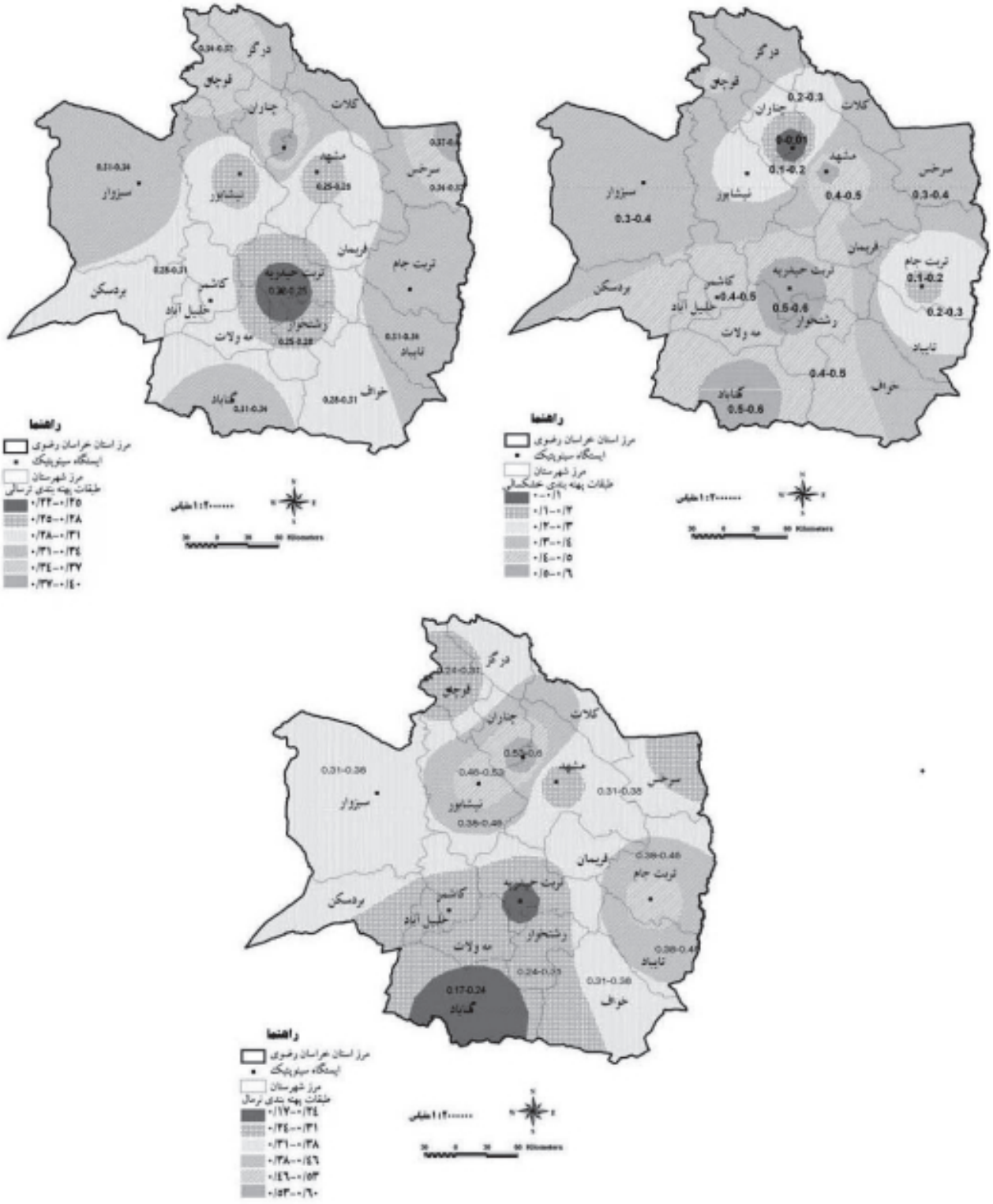
www.SID.ir

جدول(۵) احتمال وقوع هر یک از وضعیتهای خشکسالی و ترسالی در سال ۲۰۰۸ بر اساس شاخص SPI سه ماهه

ایستگاه		ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
تربت‌حیدریه	خشکسالی	۵۹	۵۱/۵	۴۷/۷	۴۶	۴۵/۱	۴۴/۶	۴۴/۴	۴۴/۲	۴۴/۱	۴۴/۱	۴۴	۴۴
	خشکسالی	۵	۵/۵	۵/۸	۵/۸	۵/۷	۵/۶	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۴	۵/۴	۵/۴
	ترسالی ملایم	۳۳	۳۸/۷	۴۱/۱	۴۲/۳	۴۲/۹	۴۳/۲	۴۳/۵	۴۳/۶	۴۳/۷	۴۳/۷	۴۳/۸	۴۳/۸
	ترسالی شدید	۳	۴/۴	۵/۳	۵/۹	۶/۳	۶/۵	۶/۶	۶/۷	۶/۸	۶/۸	۶/۸	۶/۸
تربت‌جام	خشکسالی	۴۷	۴۰/۸	۳۷/۹	۳۶/۲	۳۵/۲	۳۴/۶	۳۴/۲	۳۴	۳۳/۹	۳۳/۸	۳۳/۷	۳۳/۷
	خشکسالی	۵	۶/۳	۵/۷	۵/۲	۴/۹	۴/۷	۴/۵	۴/۴	۴/۴	۴/۴	۴/۳	۴/۳
	ترسالی ملایم	۴۷	۴۹/۴	۵۲	۵۴	۵۴/۷	۵۵	۵۶	۵۶	۵۶/۱	۵۶	۵۶/۳	۵۶/۳
	ترسالی شدید	۱	۳/۶	۴/۴	۵	۵/۲	۵	۵	۶	۵/۶	۶	۵/۶	۵/۶
سبزوار	خشکسالی	۳۸	۴۰/۱	۴۲/۲	۴۲/۷	۴۹/۹	۴۳/۱	۴۳/۲	۴۳/۲	۴۳/۲	۴۳/۲	۴۳/۳	۴۳/۳
	خشکسالی	۰	۲/۱	۳/۲	۳/۷	۴	۴/۱	۴/۱	۴/۲	۴/۲	۴/۲	۴/۲	۴/۲
	ترسالی ملایم	۵۸	۵۱/۸	۴۹	۴۷/۸	۴۷/۲	۴۶/۹	۴۶/۷	۴۶/۶	۴۶/۶	۴۶/۵	۴۶/۵	۴۶/۵
	ترسالی شدید	۴	۶	۶/۴	۶/۳	۶/۲	۶/۱	۶/۱	۶	۶	۶	۶	۶
سرخس	خشکسالی	۲۵	۲۹/۱	۳۰/۷	۳۱/۶	۳۲/۲	۳۲/۵	۳۲/۷	۳۲/۸	۳۲/۹	۳۳	۳۳	۳۳
	خشکسالی	۱	۲/۸	۳/۹	۴/۵	۴/۸	۵	۵/۱	۵/۲	۵/۲	۵/۲	۵/۳	۵/۳
	ترسالی ملایم	۶۸	۶۱/۳	۵۸/۶	۵۷/۳	۵۶/۶	۵۶/۲	۵۵/۹	۵۵/۷	۵۵/۷	۵۵/۶	۵۵/۶	۵۵/۵
	ترسالی شدید	۶	۶/۸	۶/۷	۶/۶	۶/۴	۶/۳	۶/۳	۶/۲	۶/۲	۶/۲	۶/۲	۶/۲
قوچان	خشکسالی	۵۹	۴۷/۶	۴۴/۱	۴۲/۵	۴۱/۷	۴۱/۳	۴۱	۴۰/۹	۴۰/۸	۴۰/۸	۴۰/۸	۴۰/۸
	خشکسالی	۵	۷/۳	۷/۴	۷/۲	۷	۶/۹	۶/۸	۶/۸	۶/۷	۶/۷	۶/۷	۶/۷
	ترسالی ملایم	۳۶	۴۲/۵	۴۴/۶	۴۵/۸	۴۶/۴	۴۶/۸	۴۷	۴۷/۱	۴۷/۲	۴۷/۲	۴۷/۳	۴۷/۳
	ترسالی شدید	۰	۲/۶	۳/۹	۴/۵	۴/۹	۵	۵/۱	۵/۲	۵/۲	۵/۲	۵/۲	۵/۲
کاشمر	خشکسالی	۴۹	۴۴/۲	۴۰/۹	۳۹/۳	۳۸/۳	۳۷/۸	۳۷/۵	۳۷/۳	۳۷/۲	۳۷/۲	۳۷/۱	۳۷/۱
	خشکسالی	۵	۶/۱	۶/۴	۶/۳	۶/۲	۶/۱	۶	۵/۹	۵/۹	۵/۸	۵/۸	۵/۸
	ترسالی ملایم	۴۶	۴۶/۴	۴۷/۷	۴۸/۵	۴۹	۴۹/۴	۴۹/۷	۴۹/۸	۴۹/۹	۵۰	۵۰	۵۰
	ترسالی شدید	۰	۳/۳	۵	۵/۹	۶/۴	۶/۷	۶/۹	۷	۷	۷	۷/۱	۷/۱
گلمکان	خشکسالی	۵۴	۴۵/۸	۴۳/۳	۴۲	۴۱/۳	۴۰/۸	۴۰/۶	۴۰/۴	۴۰/۳	۴۰/۲	۴۰/۲	۴۰/۲
	خشکسالی	۹	۹/۳	۸/۶	۸/۱	۷/۷	۷/۵	۷/۴	۷/۳	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲
	ترسالی ملایم	۳۴	۴۰/۳	۴۲/۴	۴۳/۴	۴۴	۴۴/۴	۴۴/۶	۴۴/۷	۴۴/۸	۴۴/۹	۴۴/۹	۴۴/۹
	ترسالی شدید	۳	۴/۵	۵/۸	۶/۵	۷	۷/۳	۷/۵	۷/۶	۷/۷	۷/۷	۷/۷	۷/۷
گناباد	خشکسالی	۵۲	۴۰/۴	۳۷/۳	۳۶	۳۵/۳	۳۴/۹	۳۴/۶	۳۴/۵	۳۴/۴	۳۴/۴	۳۴/۳	۳۴/۳
	خشکسالی	۵	۶/۸	۶/۵	۶	۵/۶	۵/۴	۵/۲	۵/۱	۵/۱	۵	۵	۵
	ترسالی ملایم	۴۳	۵۰/۱	۵۲	۵۳/۱	۵۳/۷	۵۴/۲	۵۴/۴	۵۴/۶	۵۴/۷	۵۴/۸	۵۴/۸	۵۴/۸
	ترسالی شدید	۰	۲/۸	۴/۲	۵	۵/۴	۵/۶	۵/۷	۵/۸	۵/۸	۵/۸	۵/۹	۵/۹
مشهد	خشکسالی	۵۷	۵۰/۶	۴۶/۹	۴۴/۹	۴۳/۸	۴۳/۱	۴۲/۷	۴۲/۴	۴۲/۳	۴۲/۲	۴۲/۱	۴۲/۱
	خشکسالی	۵	۵/۴	۵/۹	۶	۶	۵/۹	۵/۹	۵/۸	۵/۸	۵/۷	۵/۷	۵/۷
	ترسالی ملایم	۳۶	۳۹/۹	۴۱/۶	۴۲/۹	۴۳/۳	۴۳/۵	۴۳/۷	۴۳/۸	۴۳/۸	۴۳/۹	۴۳/۹	۴۳/۹
	ترسالی شدید	۲	۴	۵/۶	۷/۳	۷/۷	۸	۸/۱	۸/۲	۸/۳	۸/۳	۸/۳	۸/۳
نیشابور	خشکسالی	۶۱	۵۰/۹	۴۷/۳	۴۵/۷	۴۴/۸	۴۴/۴	۴۴/۲	۴۴	۴۳/۹	۴۳/۹	۴۳/۹	۴۳/۸
	خشکسالی	۴	۵/۵	۵/۸	۵/۹	۵/۸	۵/۷	۵/۷	۵/۶	۵/۶	۵/۶	۵/۶	۵/۵
	ترسالی ملایم	۳۴	۴۱/۳	۴۳/۴	۴۴/۲	۴۴/۶	۴۴/۹	۴۵	۴۵/۱	۴۵/۲	۴۵/۲	۴۵/۳	۴۵/۳
	ترسالی شدید	۱	۲/۴	۳/۵	۴/۳	۴/۷	۵	۵/۱	۵/۲	۵/۳	۵/۳	۵/۳	۵/۳

Archive of SID

www.SID.ir



شکل(۱) پهنه بندی احتمال وقوع خشکسالی، ترسالی و نرمال در سال ۲۰۰۸

www.SID.ir

ضرب شدن در یکدیگر تقریباً ثابت می شوند و در این حالت احتمالات نیز ثابت شده و با گذشت زمان تغییر نمی کند بنابراین توصیه می شود که این احتمالات تنها برای ۲ تا ۳ ماه آینده به کار رود و مرتباً با بدست آمدن اطلاعات جدید از وضعیت های مختلف آب و هوایی در هر ماه به روزآوری شود. دقت مدل زنجیره مارکوف بستگی به تعداد آمار هواشناسی مورد استفاده دارد، لذا هر چه تعداد ماهها و سالهای آماری مورد استفاده بیشتر باشد دقت مدل در پیش بینی نیز بیشتر خواهد بود.

جهت تعیین دقت نتایج به دست آمده از مدل زنجیره مارکوف می توان حدود ۵ سال آخر آمار موجود در هر ایستگاه را کنار گذاشت و برای سایر آمار موجود ماتریس احتمال انتقال را محاسبه نمود و سپس با ضرب کردن این ماتریس در خودش احتمال وقوع یک مرحله بعد را تعیین نمود که توصیه می شود این آزمون نیز صورت پذیرد تا دقت مدل بررسی گردد.

قدردانی

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به دلیل حمایت هائی که برای انجام این تحقیق بعمل آورده اند سپاسگزاری می شود.

منابع

۱. جعفری بهی، خ. ۱۳۸۰. تحلیل آماری دوره های تر و خشک بارندگی در چند نمونه اقلیمی ایران. مجموعه مقالات اولین کارگاه آموزشی هواشناسی کشاورزی، همدان.

۲. حقیقت جو، پ و ز. شامحمدی حیدری. ۱۳۸۱. کاربرد زنجیره مارکف در بررسی خشکسالی و ترسالی منطقه سیستان با توجه به بده رودخانه هیرمند. کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، زابل.

۳. زارعی، ح و شاهکار، ۱۳۸۰. بررسی احتمال تواتر روزهای بارانی و خشک مناطق خرم دره ـ ارداك و زشک. سومین سمینار احتمال و فرآیندهای تصادفی دانشگاه اصفهان.

۴. عدل، ا. ۱۳۶۹. کاربرد روش استوکاستیک در بررسی احتمالات تأمین آب از دریاچه سد امیرکبیر. نشریه علمی و فنی آب کشور، شماره ۹، صفحات ۷-۱.

۵. کشاورز، ع و ك، صادقی زاده. ۱۳۷۹. مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، برآورد تقاضا برای آینده، بحرانهای خشکسالیف وضعیت موجود، چشم اندازهای آینده و کارایی جهت بهینه سازی مصرف آب. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

۶. محمدنیا قرایی، س. جاودانی، ن. جوانمرد، س. خزانه داری، ل و م، خسروی. ۱۳۷۹. بررسی شاخص ارزیابی و امکان سنجی کاربرد شاخص شدت خشکسالی پالمر در ایران. مجموعه مقالات کنفرانس خشکسالی کرمان.

۷. مقدم، ح. جوانمرد، س. احمدیان، ج. عراقی، ح. سیدان، ج. ابراهیمی، ا و ج، بداق جمالی. ۱۳۷۹. توسعه راهکارهای مدیریتی بیمه محصولات کشاورزی بر اساس درجه بندی مناطق جغرافیایی در شرایط خشکسالی. مجموعه مقالات کنفرانس خشکسالی کرمان.

۸. نساجی زواره، م و م، صانعی. ۱۳۸۰. تعیین دوره های خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی SPI. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی راهکارهای مقابله با بحران آب زابل.

Archive of SID

www.SID.ir

9. Bordi, I. Frigid, S. Parenti, P. Speranza, A. and A.Sutera, 2001. The analysis of Standardizeed Precipitation Index in the Mediterranean area (part I), http:// www.phys.uniromal.it/index.html
10. Bronini, O, H.S.Pinto, J.Zullo Jr, M.T.Barbano, M.B.P.Camargo, R.R.Alfonsi, G.C.Blain, M.J.Pedro Jr and G.Q.Pellegrino, 2001. Drought Quantification and Preparedness in Brazil ? The Exampele of Sao Paulo State
11. Gabriel, K.R. and J. Neumann, 1962. A Markov chain model for daily rainfall occurrences in Tel Aviv, Israel. J. Roy. Meteorol. Soc. 88: 90-95.
12. Hayes, M.J. 2001. Drought Indices. National Drought Mitigation Center, Noaa
13. Jimoh, O.D. and P.Webster, 1996. The optimum order of a Markov chain model for daily rainfall in Nigeria. J. Hydro. 185:45-69.
14. Jimoh, O.D. and P.Webster, 1999. Stochastic modeling of daily rainfall in Nigeria, intra- annual variation of model parameters. J. Hydro. 222: 1-17.
15. Kemal Sonmez, F, Umran Komuscu, A.Erkan, A and E.Turgu, 2004.An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in turkey using the standard precipitation index
16. Srikanthan, R. McMahon ,T.A.1985. Stochastic generation of rainfall and evaporation data. AWRC Technical Paper. 84, 301pp
17. Thomas, H.A. and M.P.Fiering.1962. Mathematical synthesis of streamflow sequences for the analysis of river basins by simulation. Chapter 12 in: Design of water resources.
18. Thompson, S.A.1999. Hydrology for water management. Balkema. Rotterdam Netherlands
19. Wilhite. D. A., 1986. Drought polig in U.S and Australia. A comparative analysis. Water resources Bulletin 22: 425-438.
20 Willhite,D.A.,1987. The role of government in planning for drought: Wher do we go from here. in D.A.Willhite and W.E.Easterling(eds),Planing for Drought: Toward a Reduction of societal. Vulnerability,Boulder,Co:westview press

Archive of SID

www.SID.ir

Development of a Model for Monitoring and forecasting drought (case study : Khorasan Razavi province)

A. Alizadeh* – Sh. A. Toosi[1]

Abstract

Khorasan province is locating in arid and semi-arid part of Iran. Occurrence of consequent droughts during the last few years has shown that drought prediction is a subject that deserves more attention to be paid to. One way to achieve such goal is modeling the rainfall based on Markov chain. To determining the degree of droughts, in this paper, we used percent of normal index for annual droughts, standardized precipitation index for monthly droughts and Markov chain for drought forecasting. Data processing was made by DMF software. We used long term precipitation data of synoptic stations which are layout at data base of the software. After monitoring the dry and wet conditions in synoptic stations of Khorasan province, we forecasted weather conditions for 2008. Results from standardized precipitation index in 3 months intervals at last 30 years were show that almost the slight wet condition have most probability at most stations and slight dry condition have the next probability. The results of yearly forecasting for 2008 show the most probability for normal condition in most stations of Khorasan province. The monthly forecast result show slight drought in some stations and wet condition for others.

Key words: Drought, DMF, Percent of normal, Standardized precipitation index, Markov chain

Archive of SID

* Corresponding auther Email: alizadeh@um.ac.ir

1- Professor, Department of Irrigation,College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad and Irrigation expecialist, Toos Ab Consulting Eng. Mahhad, Iran

www.SID.ir