Archive of SID

جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
سال ۲۵، پیـاپی ٥٦، شـماره ٤، زمسـتان ۱۳۹۳

بررسی احتمال تداوم روزهای بارش در ایران زمین

بهلـــول علیجـــانی: اســـــتاد اقلـــــیم شناســـــی، دانشـــــگاه خـــــوارزمی، تهـــــران، ایـــــران
پیمـــان محمـــودی: اســـتادیار اقلـــیم شناســـی، دانشـــگاه سیســـتان و بلوچســـتان، زاهـــدان، ایـــران*
عبدالرئوف شاهوزنی:کارشناس هواشناسی همدید، مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
عبدالمجیـد محمـدی:دانشـجوی کارشناسـی ارشـد مهندسـی آب، دانشـگاه سیسـتان و بلـو چسـتان، زاهـدان، ایـران

وصـول: ۱۳۹۱/۹/۲٦ پـذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۲، صص ۱٦-۱

چکیده

بارش به عنوان مهمترین عنصر اقلیمی همـواره در سـرزمین ایـران از پیچیـدگی‌هـای خاصـی برخـوردار بـوده اسـت. ایـن پیچیدگی‌ها که بیشتر ناشی از موقعیت جغرافیایی این سرزمین پهناور بوده است باعث گردیده است که بارش از توزیع زمانی و مکانی یکنواختی برخوردار نباشد. هدفی که این تحقیق در پی دست یافتن به آن است تعیین تـداوم‌هـای دو، سـه و چهـار روزه بارش در ایران زمین و تعیین ساختار احتمالی آن با استفاده از تعیین بهترین مرتبـه زنجیـره مـارکوف و بـرازش آن بـر داده‌های بارش در این سرزمین پهناور است. برای دستیابی به ایـن هـدف، داده‌هـای مربـوط بـه بـارش روزانـه ٤٤ ایسـتگاه هواشناسی سینوپتیک برای یک دوره ۲۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۱) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیـد. سـپس بـا اسـتفاده از مدل‌های مرتبه یک، دو و سه زنجیره مارکوف، پارامترهای تداوم بین بـارش‌هـای دو روزه، سـه روزه و چهـار روزه محاسـبه گردید. نتایجی که از این تحقیق حاصل آمد عبارتند از اینکه در دوره سرد سال: بیشترین فراوانی تداوم بـارش‌هـای دو روزه، سه روزه و چهار روزه با میانگین ٥٤، ۳۵ و ۲۳ بار تکرار مربوط به ایستگاه بندر انزلی و کمترین آنها مربوط به جنوب شـرق ایران است. بهترین مدل آماری هم از میان سه مدل استفاده شده جهت بررسی تداوم بارش‌های ایران زمین در دوره سرد سال مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالته است. برای دوره گرم سال نیز بیشترین فراوانی تداوم بارش‌های دو روزه، سـه روزه و چهار روزه به ترتیب با میانگین ۱۸، ۱۸ و ۸ بار تکرار متعلق به ایستگاه بندر انزلی و کمترین این تداوم‌ها با میانگین متعلـق به قسمت اعظمی از نواحی مرکزی و جنوبی ایران است. در نهایت مدل مناسب جهت تحلیل تداوم روزهای بارش در ایـران در دوره گرم سال، مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالته است. با این تفاوت که این مدل تنها برای نواحی شمال و شـمال غربی ایران مناسب است و روزهای بارش نواحی جنوبی و مرکزی ایران ویژگی مارکوفی ندارند.

واژه‌های کلیدی: ایران، تداوم بارش، زنجیره مارکوف، ضریب تداوم

مقدمه

بارش به عنوان مهمتـرین عنصـر اقلیمـی همـواره در سرزمین ایران از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار بـوده است. این پیچیدگی‌هـا کـه بیشـتر ناشـی از موقعیـت جغرافیـایی ایـن سـرزمین پهنـاور بـوده اسـت باعـث گردیده اسـت کـه بـارش از توزیـع زمـانی و مکـانی یکنواختی برخوردار نباشد.

*نویسنده مسؤول: E-mail: Paymanasia@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

موقعیت جغرافیایی ایران دارای دو ویژگی بارز است: نخستین ویژگی کوهستانی بودن آن است که اثرات چشمگیری بر سیمای طبیعی آن بر جای گذاشته و دوم قرار گیری آن در کمربند خشک جهانی است که در پیدایش خصوصیات بیابانی و نیمه بیابانی کشور نقش به سزائی داشته است. علاوه بر این دو خصیصه، نبایستی قرارگیری ایران بین سیبری در شمال، هندوستان در شرق و شبه جزیره عربستان در جنوب غرب و تاثیراتی که این سرزمین‌ها بر روی اقلیم ایران می‌گذارند فراموش نمود (بابائی فینی، ۱۳۸۲).

یکی از ویژگی‌های بارشی این سرزمین پهناور که کمتر بدان توجه شده است، گوناگونی در تداوم روزهای بارش آن است. در اینجا منظور از تداوم، خودهمبستگی مثبت بین روزهای بارش است. جهت بررسی این تداوم و تحلیل ویژگی‌های زمانی و مکانی آن از مدل زنجیره مارکوف استفاده شده است. مدل زنجیره مارکوف یک تکنیک ریاضی جهت تحلیل پدیده‌های تصادفی است که تداومی از مشاهدات را در طول زمان نشان می‌دهد (طالشی، ١٣٨٤). در واقع در روش زنجیره مارکوف یک سری از مشاهدات و تغییر هر کدام از مشاهدات از حالتی به حالت دیگر مورد بررسی قرار می‌گیرد (علیزاده، ۱۳۸۳). استفاده از این مدل به دلیل توانمندی‌هایی که در محاسبه دوره‌های خشک و تر و همچنین ساده کردن حل بسیاری از مسایل مربوط به فرایندهای وابسته دارد بسیار مورد توجه محققین مختلف در رشته‌های گوناگون قرار گرفته است. گابریل و نیومن (١٩٦٢) جزء اولین کسانی بودند که این مدل را جهت بررسی ویژگی‌های وقوع بارش‌های روزانه مورد استفاده قرار دادند. آنها بر اساس این مدل نشان دادند که وقوع بارش‌های روزانه تل آویو، ویژگی‌های زنجیره مارکوف مرتبه یک دو حالته را دارد یعنی بین وقوع بارش امروز با شرایط حاکم بر دیروز یک وابستگی وجود دارد. هر چند بعد از کار گابریل و نیومن، مدل‌های پیچیده تری جهت برازش توزیع‌های آماری بر داده‌های هواشناسی پیشنهاد گردیده است؛ اما استفاده از این مدل هنوز جایگاه خاصی را در مطالعات اقلیم شناسی و هواشناسی دارا است. به طوریکه تودوروویچ و ول هیسر (١٩٧٥) از این مدل جهت بررسی بارش‌های n روزه وهاپکینز و رابیلارد (١٩٦٤) نیز بارش‌های روزانه استان پری یری کانادا را با این مدل مورد بررسی قرار داده اند. ویکتور و ساستری هم در سال ۱۹۷۹ ویژگی‌های احتمالاتی بارش‌های روزانه انستیتیوی تحقیقات کشاورزی هندوستان را با استفاده از این مدل در یک بازه زمانی ۳۰ ساله برای ماه‌های ژوئن تا سپتامبر مورد مطالعه قرار داده اند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که بارش‌های روزانه این ایستگاه در چهار ماه مورد مطالعه در سطح احتمالاتی یک درصد با زنجیره مارکوف مرتبه اول وبرای دو ماه ژوئن و سپتامبر در سطح احتمالاتی پنج درصد با زنجیره مارکوف مرتبه دوم بهترین برازش را نشان می‌دهند. سینگ و کریپالانی (١٩٨٤) نیز نشان دادند که زنجیره مارکوف مرتبه دوم در طول مونسون تابستانه نواحی نیمه خشک هندوستان بهترین برازش را بر داده‌های بارش روزانه این قسمت از سرزمین هندوستان دارد. لذا از این مدل جهت بررسی و تحلیل ویژگی‌های احتمالاتی بارش این ناحیه استفاده نموده اند. سابرامانیام و سانجیرا (۱۹۸۹) دو محقق دیگر هندوستانی هستند که وقوع موسم‌های تر و خشک جنوب آندراپرادش را با

www.SID.ir

Archive of SID

هدف رسیدن بـه یـک تقـویم زراعـی مناسـب جهـت کشت دیم با استفاده از مدل ذکـر شـده مـورد تحقیـق قرار دادند. آنها بـرای رسـیدن بـه ایـن هـدف از آمـار هفتگی بارش یک دوره ۳۰ ساله در طی ماه‌های ژوئن تا سپتامبر بهره گرفتند. آستانه مورد نظر ایـن محققـین جهت مشـخص نمـودن هفتـه‌هـای تـر و خشـک ۲۰ میلیمتر در هفته بود چون آنها معتقـد بودنـد کـه ایـن میزان بارش می‌تواند کلیه نیازهای آبی گیاهـان منطقـه مورد مطالعه را در طـی یـک هفتـه تـامین کنـد. مـدل زنجیره مارکوف مرتبه اول مدلی بود که برای بررسـی ویژگی‌های بارشی این منطقه از طـرف ایـن محققـین انتخاب شده بود. از دیگر مطالعاتی که در گوشه وکنار جهان با استفاده از این مدل جهت شناخت ویژگی‌های بارشی یک منطقـه اسـتفاده شـده اسـت مـی‌تـوان بـه کارهـای محققینـی همچـون: چـین (۱۹۷۷)، جـونز و تورنتن (۱۹۹۳)، استاین مان (۲۰۰۳)،، مون و همکاران (۱۹۹٤)، مـــارتین وایـــد و گـــومش (۱۹۹۹)، لـــو و همکاران (۱۹۹۹) و پنالبا و لیانو (۲۰۰٦) اشاره نمود.

در ایران نیز استفاده از مدل زنجیـره مـارکوف جهـت تجزیه و تحلیل ویژگی‌هـای بارشـی یـک منطقـه، بـا کارهاشمی (۱۳٤٥) آغاز شد. ایشـان جهـت تجزیـه و تحلیل بارش‌های روزانه تهران، آستانه ۰/۲ میلی متر را جهت تشخیص روزهای خشک وتر انتخاب و سـپس با استفاده از این مدل، دیگر ویژگی‌های احتمـالاتی آن را بررسی نمود. مشکانی (۱۳٦۳) نیـز در سـال ۱۳٦۲، احتمال تواتر روزهای خشک و تر بابلسر را با استفاده از مدل زنجیـره مـارکوف مرتبـه اول دو حالتـه امـا از دیدگاه بیز تجربی بررسی نمود. همچنین جعفری بهـی (۱۳۷۸) با انتخاب پـنج ایسـتگاه هواشناسـی بوشـهر، شیراز، اصفهان، کرج و بندر انزلی به عنوان نماینـدگان اقالیم مختلف ایران، ویژگی‌های بارشی این ایستگاه‌هـا را با استفاده از مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول مطالعه و نتیجه گرفت که این مدل توانایی بیـان ویژگـی‌هـای احتمالاتی بارش در اقالیم مختلف ایـران را دارد. قـادر مرزی محقق دیگری است که در سال ۱۳۸۰، تحلیل و پیش بینی نوسانات آب وهوا در استان کردسـتان را بـا استفاده از مدل زنجیره مارکوف دستمایه تحقیـق خـود قـرار داده بـود. مـدلی کـه ایشـان بـرای بررسـی ایـن نوسانات انتخاب نمـوده بـود مـدل زنجیـره مـارکوف مرتبه اول دو حالته برای بارش و مدل مرتبـه اول سـه حالته برای دما بود. علیجانی و همکارانش (۱۳۸٤) هم جهت تحلیل و پیش بینی بارش‌های منطقـه لارسـتان، مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالته را بـه عنـوان مدل مناسب جهت تحلیل بارش این منطقـه تشـخیص داده و نتیجه گرفتند در مناطقی همچـون لارسـتان کـه ناهمگنی بارش در آن شدید است، این مـدل از دقـت کافی جهت پیش بینی دوره‌های تر وخشک برخـوردار اســـت. حجـــازی زاده و شـــیرخانی(۱۳۸٤) نیـــز خشکسالی‌ها و دوره‌هـای کوتـاه مـدت خشـک و تـر استان خراسان را با استفاده از این مدل بررسـی کـرده اند. از دیگر کارهای انجام شده با استفاده از این مـدل در ایران می‌توان به کارهای آشـگر طوسـی و علیـزاده (۱۳۸۲)، یوســفی و همکــارانش (۱۳۸٦)، فولادمنـــد (۱۳۸۵) و دل آرا (۱۳۸۷) اشاره نمود.

از آنجا که سیستم‌های سـینوپتیک مـؤثر بـر بارنـدگی ممکن است به مدت چند روزی روی هر منطقـه دوام داشته باشند. لذا تعیین احتمال رویدادهائی ماننـد یـک روز تر به دنبال یک روز تر دیگر، یک روز خشک بـه دنبال یک روز خشک، یک روز خشک به دنبـال یـک روز تر و یا بر عکس مفید خواهد بود. با مـروری کـه

www.SID.ir

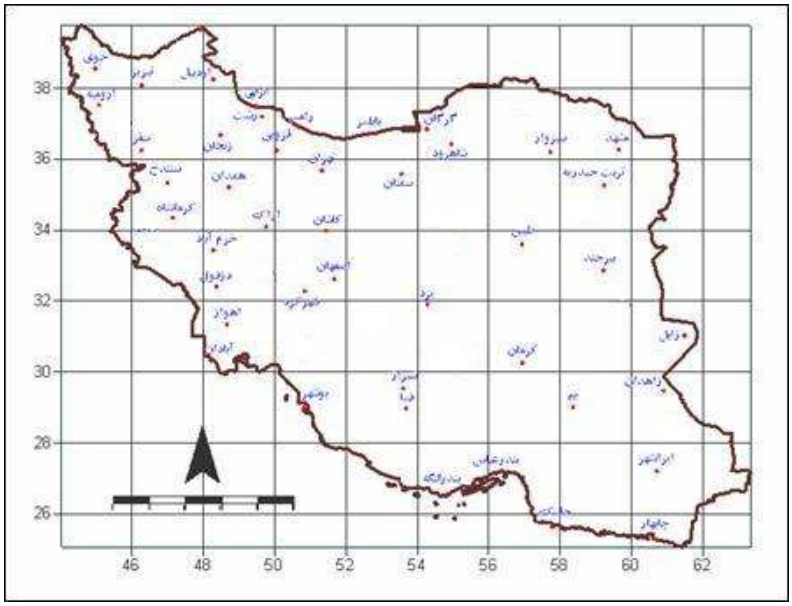
Archive of SID

بر منابع خارجی و داخلی صورت گرفت و به برخی از آنها نیز در بالا اشاره شد مشخص گردید تمام مطالعاتی که بخصوص در ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف انجام شده است اکثراً متکی بر مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالته و در موارد نادری مدل چند حالته آن بوده است. هرچند زنجیره‌های مارکوف مرتبه اول بیانگر خوبی از وقوع بارندگی روزانه هستند، اما روشن نیست که این مدل ساده برای نشان دادن ساختار همبستگی کافی باشد. یعنی امکان دارد زنجیره‌های مارکوف مراتب بالاتر، برازش بهتری بر داده‌های سری زمانی داشته باشند.

هدفی که این تحقیق در پی دست یافتن به آن است تعیین تداوم‌های دو، سه و چهار روزه بارش در ایران زمین و تعیین ساختار احتمالی آن با استفاده از تعیین بهترین مرتبه زنجیره مارکوف و برازش آن بر داده‌های بارش در این سرزمین پهناور است.

داده‌ها و روش تحقیق

برای بررسی تداوم روزهای بارش در ایران زمین و دستیابی به یک الگوی بارشی مناسب در این زمینه، داده‌های مربوط به بارش روزانه ٤٤ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک برای یک دوره ۲۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۱) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. از دلایل انتخاب این دوره و این تعداد ایستگاه می‌توان به معیارهایی همچون داشتن حداقل ۲۵ سال طول دوره آماری مناسب، نداشتن نقص آماری بیش از ۲۰ درصد از کل داده‌های هر ایستگاه و تراکم و پراکندگی مناسب ایستگاه‌ها در سطح کشور اشاره نمود. توزیع و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کشور در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱ – نقشه موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

جهت بررسی تداوم روزهای بارش در ایران زمین از مدل زنجیره مارکوف بهره گرفته شده است. مدل زنجیره مارکف یک تکنیک ریاضی جهت مدل سازی پدیده‌های تصادفی است که توالی از مشاهدات را در طول زمان نشان می‌دهد. برای شروع این کار ابتدا داده‌های بارش روزانه کل ایستگاه‌ها به دو دوره سرد (اکتبر تا مارس) و گرم (آوریل تا سپتامبر) تقسیم شدند.

تعیین آستانه برای مشخص نمودن روزهای بارانی از غیر بارانی مرحله دوم کار را تشکیل می‌داد. در مورد تعیین این آستانه بین آب و هواشناسان اختلاف نظر زیادی وجود دارد به طوریکه آنها معیارهای گوناگونی را برای این منظور پیشنهاد داده اند؛ معیارهای مختلفی همچون ۰/۰۱، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۵، ۰/۳ (دومروس و راناتونگ، ۱۹۹۳). همچنین سازمان هواشناسی جهانی نیز روز بارانی را با حداقل ۱ میلی متر بارش در ٢٤ ساعت تعریف کرده است (ذوالفقاری، ۱۳۷۹). علیجانی(۱۳۷٤) و رسولی (۱۳٦۹) هم روزی را بارانی محسوب می‌کنند که بیش از یک میلیمتر بارندگی داشته باشد. در این تحقیق نیز با عنایت به شرایط محیطی ایران و کم بودن تعداد روزهای بارش در بعضی از ایستگاه‌ها در طول سال، رقم ۰/۱ میلی متر بارش در روز به عنوان آستانه روز بارانی تعیین گردید.

بعد از مشخص نمودن آستانه تری، روزها به دو دسته روزهای خشک با آستانه بارندگی کمتر از ۰/۱ میلی متر $(X_t = 0)$ و روزهای تر با آستانه بارندگی بیش از ۰/۱ میلی متر $(X_t = 1)$ تقسیم گردیدند.

اکنون داده‌ها جهت برازش زنجیره مارکوف بر آنها آماده می‌باشند. معمولی ترین شکل مدل زنجیره مارکوف، زنجیره مارکوف مرتبه اول است که به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$P_r\{X_{t+1}|X_t, X_{t-1},...., X_1\} = P_r\{X_{t+1}|X_t\} \quad (۱)$$

در این رابطه، P_r احتمال شرطی و بیان کننده این مفهوم است که نتیجه هر فرایند در زمان $t+1$ تنها به شرایط در زمان t بستگی دارد یعنی پیش بینی شرایط فردا، منحصراً به وسیله داده‌های امروز صورت می‌گیرد و داده‌های دیروز در آن اطلاعات اضافه ای فراهم نمی کنند. بسط همین خاصیت مارکوفی که در رابطه (۱) بیان شد در زنجیره‌های مارکوف مرتبه دوم و سوم به صورت زیر است:

$$P_r = \{X_{t+1}|X_t, X_{t-1},..., X_1\} = P_r\{X_{t+1}|X_t, X_{t-1}\} \quad (۲)$$

$$P_r = \{X_{t+1}|X_t, X_{t-1},..., X_1\} = P_r\{X_{t+1}|X_t, X_{t-1}, X_{t-2}\} \quad (۳)$$

با این تفاصیل، نخستین گام جهت استفاده از مدل زنجیره مارکوف فراهم نمودن ماتریس شمارش فراوانی انتقالات جهت محاسبه ماتریس احتمالات انتقال است. استخراج فراوانی انتقال‌ها با استفاده از برنامه ای که در محیط نرم افزاری Matlab تهیه گردیده بود برای تداوم‌های ۲، ۳ و ٤ روزه استخراج گردیدند. سپس برای هر ایستگاه و برای هر کدام از دوره‌های سرد و گرم، ماتریس شمارش فراوانی انتقالات برای مرتبه‌های اول، دوم و سوم زنجیره مارکوف فراهم آمد که در زیر نمونه ای از این ماتریس‌ها برای دوره سرد ایستگاه سنندج مشاهده می‌شود (جداول ۱، ۲ و ۳).

جدول ۱- ماتریس شمارش فراوانی انتقالات زنجیره مارکوف مرتبه اول دوره سرد ایستگاه سنندج

	0	1	جمع حاشیه ای
0	۲٥٤۳	٦٤۲	۳۱۸٥
1	٦۳۷	۷۰۹	۱۳٤٦
	۳۱۸۰	۱۳٥۱	٤٥۳۱

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- ماتریس شمارش فراوانی انتقالات زنجیره مارکوف مرتبه دوم دوره سرد ایستگاه سنندج

x_{t-1}	x_t	0	1	جمع حاشیه ای
0	0	۲۰٤۲	٤٦۷	۲٥۰۹
0	1	۱٤۲	۳۹۸	٦٤۰
1	0	٤۸۰	۱٦۳	٦٤۳
1	1	۳۹۷	۳۱۱	۷۰۸
		۳۱٦۱	۱۳۳۹	٤٥۰۰

جدول ۳- ماتریس شمارش فراوانی انتقالات زنجیره مارکوف مرتبه سوم دوره سرد ایستگاه سنندج

x_{t-2}	x_{t-1}	x_t	0	1	جمع حاشیه‌ای
0	0	0	۱٦٦۱	۳۷۱	۲۰۳۲
0	0	1	۱۷۸	۳۰۸	٤۸٦
0	1	0	۱۸۳	٥٥	۲۳۸
0	1	1	۲۲٥	۱٦۹	۳۹٤
1	0	0	۳٦۳	۱۱۳	٤۷۹
1	0	1	٦۳	۸۹	۱٥۲
1	1	0	۲۹٦	۹۷	۳۹۳
1	1	1	۱٦۸	۱٤۲	۳۱۰
			۳۱۳۷	۱۳٤٤	٤٤۸۱

در مرحله بعد، ماتریس احتمال انتقال ایستگاه‌ها با استفاده از معادلات ٤، ٥ و ٦ برای هر کدام از مراتب یک، دو و سه زنجیره مارکوف محاسبه گردیدند.

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{i+}} = \frac{n_{ij}}{n_{i0} + n_{i1}} \qquad (٤)$$

$$P_{hij} = \frac{n_{hij}}{n_{hi+}} = \frac{n_{hij}}{n_{hi0} + n_{hi1}} \qquad (٥)$$

$$P_{ghij} = \frac{n_{ghij}}{n_{ghi+}} = \frac{n_{ghij}}{n_{ghi0} + n_{ghi1}} \qquad (٦)$$

برای مثال معادله (٥) نشان دهنده این است که اگر سری زمانی در زمان $t-1$ در حالت h و در زمان t در حالت i بوده باشد احتمال اینکه مقدار آتی سری زمانی $X_{t+1} = j$ باشد برابر با P_{hij} خواهد بود. برآورد نمونه این احتمالات انتقال با استفاده از معادلات بالا برای ایستگاه سنندج در دوره سرد سال محاسبه گردیده است که نتایج آن برای زنجیره مارکوف مرتبه اول در جدول ٤، برای مرتبه دوم در جدول ٥ و برای مرتبه سوم در جدول ٦ آورده شده است.

جدول ٤- ماتریس احتمالات انتقال زنجیره مارکوف مرتبه اول دوره سرد ایستگاه سنندج

	0	1	
0	۰/۷۹	۰/۲۱	۱
1	۰/٤۷	۰/٥۳	۱

جدول ٥- ماتریس احتمالات انتقال زنجیره مارکوف مرتبه دوم دوره سرد ایستگاه سنندج

x_{t-1}	x_t	0	1	
0	0	۰/۸۱	۰/۱۹	۱
0	1	۰/۳۷	۰/٦۳	۱
1	0	۰/۷٤	۰/۲٦	۱
1	1	۰/٥٦	۰/٤٤	۱

جدول ٦- ماتریس احتمالات انتقال زنجیره مارکوف مرتبه سوم دوره سرد ایستگاه سنندج

x_{t-2}	x_{t-1}	x_t	0	1	
0	0	0	۰/۸۱	۰/۱۹	۱
0	0	1	۰/۳٦	۰/٦٤	۱
0	1	0	۰/۷٦	۰/۲٤	۱
0	1	1	۰/٥۷	۰/٤۳	۱
1	0	0	۰/۷٦	۰/۲٤	۱
1	0	1	۰/٤۱	۰/٥۹	۱
1	1	0	۰/۷٥	۰/۲٥	۱
1	1	1	۰/٥٤	۰/٤٦	۱

در ادامه با استفاده از ماتریس‌های احتمالات انتقال که قبلاً برای هر کدام از ایستگاه‌ها به طور جداگانه محاسبه گردیده بودند، آزمون‌های استقلال، ایستایی و همگنی مکانی ایستگاه‌ها نیز مورد محاسبه قرار گرفت (جهت آشنایی با این آزمون‌ها به منبع علیجانی و

www.SID.ir

Archive of SID

همکـاران، ۱۳۸۹ و مـون و همکـاران، ۱۹۹٤ مراجعـه شوأ). در نهایت پارامتر تداوم را که نشان دهنده میـزان خود همبستگی روزهای بارش با یکدیگر می‌باشند بـا استفاده از معادلات ۷، ۸ و ۹ برای مراتـب اول، دوم و سوم زنجیره مارکوف محاسبه گردیدند:

$$r_1 = P_{11} - P_{01} \qquad (۷)$$

$$r_2 = P_{111} - P_{011} \qquad (۸)$$

$$r_3 = P_{1111} - P_{0111} \qquad (۹)$$

در نهایت در محیط نرم افزاری Minitab و با اسـتفاده از آزمون χ^2 معنی دار بودن پارامتر تـداوم بـرای هـر کدام از ایستگاه‌ها در سطح احتمالاتی $\alpha = 0.05$ و با درجه آزادی $df = (r-1)(c-1)$ آزمون شد کـه r نشان دهنده تعداد ردیف‌ها و c تعداد ستون‌هـای هـر یک از ماتریس‌های احتمالات انتقال می‌باشند.

مطالب و تعاریف کامل تر و جامع تر در مورد زنجیره مارکوف در منابع (پاشـا، ۱۳۸۵) و کتـز (۱۹۸۳) قابـل دسترس خواهد بود.

- یافته‌های تحقیق

نظـر بـه پهنـاوری سـرزمین ایـران و بـا توجـه بـه مکانیسم‌های مختلف بارشی آن، شاهد گوناگونی‌هـای فراوانی در ویژگی‌هـای بارشـی ایـن سـرزمین پهنـاور هستیم. تداوم روزهای بارش بـه عنـوان یکـی از ایـن ویژگی‌های بارشی، با استفاده از مدل زنجیره مـارکوف برای تمام ایران مورد بررسی قرار گرفته اسـت. بـرای این مطالعـه، ابتـدا مـاتریس‌هـای فراوانـی انتقـالات و ماتریس‌های احتمالات انتقـال بـرای هـر ٤٤ ایسـتگاه مورد مطالعه برای یک دوره زمـانی ۲۵ سـاله (۲۰۰۵-۱۹۸۱) بـه تفکیـک دوره‌هـای سـرد و گـرم تنظـیم گردیدند. جمع تعداد ماتریس‌های بدست آمده در ایـن مرحله ۲٦٤ ماتریس بودند که ۱۳۲ مورد آن متعلق بـه ماتریس‌های فراوانی انتقالات و ۱۳۲ مورد دیگر متعلق به ماتریس احتمالات انتقال بوده است.

استخراج فراوانی تـداوم‌هـای دو، سـه و چهـار روزه بارش نیز با استفاده از ماتریس‌های فراوانـی انتقـالات صورت گرفت به طوریکه برای هـر ٤٤ ایسـتگاه ایـن تداوم‌ها استخراج گردیدند. بعد از استخراج تداوم‌های مختلف، سؤالی که در اینجا مطرح می‌شد این بود کـه آیا توالی حالت‌های مختلف وقوع بارش‌های روزانه از لحاظ آماری به یکدیگر وابسته هستند یا نه مسـتقل از یکدیگر هستند ؟ برای جواب به این سـؤال از آزمـون خی دو بهره گرفته شد. بنابراین برای تمام ایستگاه‌ها و برای تمام تداوم‌ها این آزمون نیـز اجـرا و نتـایج آنهـا ثبت شد.

بعـد از روشـن شـدن تکلیـف ایسـتایی و همگنـی و وابستگی یا استقلال توالی حالت‌هـای مختلـف وقـوع روزهـای بـارش،، در مرحلـه بعـد از ضـریب تـداوم زنجیره مارکوف، کـه بیـانگر میـزان خـود همبسـتگی روزهای بارش به یکدیگر است استفاده گردید. نتـایج مثبت حاصل از این ضریب بدان معناست که احتمـال اینکه یـک روز بـارانی، روز بـارانی دیگـری را دنبـال نماید بیشتر از آن اسـت کـه یـک روز غیـر بـارانی را دنبال نماید.

حال اگر سری زمـانی مـورد مطالعـه خاصـیت خـود همبسـتگی نداشـته باشـد یعنـی $r_1 = P_{11} - P_{01} = 0$ باشد در ایـن صـورت سـری زمـانی مـورد مطالعـه از قوانین حاکم بر احتمال شرطی خارج و سـری زمـانی،

www.SID.ir

Archive of SID

زنجیره ای از دسته‌های بینوم مستقل (N=1) خواهند بود. توزیع بینوم (N=1) می‌تواند به عنوان یک زنجیره مارکوف مرتبه صفر دو حالته نیز مورد بررسی قرار گیرد. همین قانون برای خودهمبستگی‌های منفی حاصل از سه معادله مورد اشاره معتبر و جاری است. با این تفاصیل اکنون به تفکیک دوره‌های سرد و گرم، توالی روزهای بارش مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

تداوم روزهای بارش در دوره سرد سال

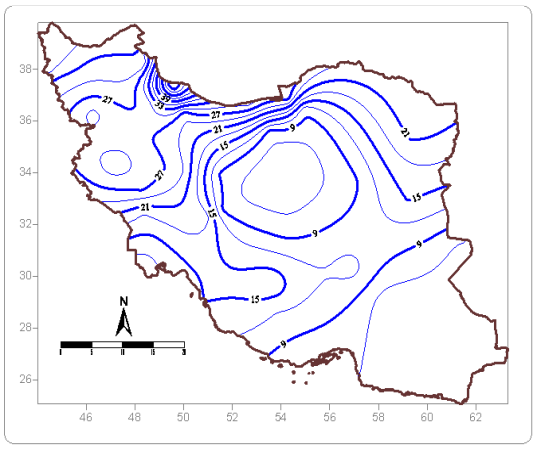
در دوره سرد سال به دنبال پسروی رودباد جنب حاره ای به طرف جنوب، بادهای غربی به ایران وارد می‌شوند. این پیشروی از اوایل فصل پائیز آغاز و تا شروع فصل زمستان ادامه خواهد داشت به طوریکه در این فصل از سال بر تمامی ایران مستقر خواهد بود. این بادها به همراه موج‌های کوتاه و بلند خود و سیکلون‌ها و آنتی سیکلون‌های سطح زمین مهمترین عامل آب و هوائی ایران در این دوره از سال به حساب می‌آیند که نتیجه آن را در ناپایدار کردن هوا و ایجاد بارش بر روی ایران می‌توان دید (علیجانی، ۱۳۸۱). لذا در این دوره هم بیشترین مقدار بارش و هم بیشترین تداوم در روزهای بارش را شاهد هستیم.

بررسی تداوم بارش‌های دو روزه در ایران نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی تداوم در بارش‌های دو روزه با ٥٤ بار تکرار در سال در جنوب غرب دریای خزر و کمترین آن با ۳ بار تکرار در جوب شرق ایران و ایستگاه چابهار مشاهده شده است (شکل ۲). ضریب تداوم نیز بیشترین مقدار را برای جنوب غرب دریای خزر و کمترین آن را برای ایران مرکزی به خصوص دو ایستگاه اصفهان و سمنان نشان می‌دهد (جدول ۷). آزمون χ^2 نیز در در سطح احتمالاتی $\alpha = 0.05$ با رد فرضیه صفر، تداوم بارش‌های دو روزه را تایید می‌کند.

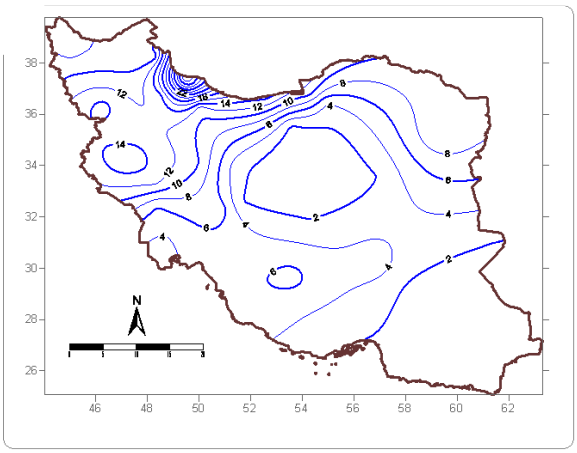
تداوم بارش‌های سه روزه نیز نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی همچون تداوم‌های دو روزه متعلق به شمال ایران و به خصوص جنوب غربی دریای خزر با ۳۵ بار تکرار و کمترین آن با یک بار تکرار متعلق به ایستگاه‌های جنوب شرق ایران است (شکل ۳). اما خود همبستگی بین این بارش‌ها که به وسیله ضریب تداوم بیان می‌گردد حاکی از منفی بودن آن برای کل ایران است. پس تداوم بارش‌های سه روزه ایران خاصیت خودهمبستگی نداشته و از قوانین حاکم بر احتمال شرطی که نتیجه وابسته بودن روزهای بارش به یکدیگر می‌باشند خارج و این سری زمانی از دسته‌های بینوم مستقل (تصادفی) خواهند بود و از قوانین داده‌های گسسته پیروی خواهند نمود (جدول ۷).

www.SID.ir

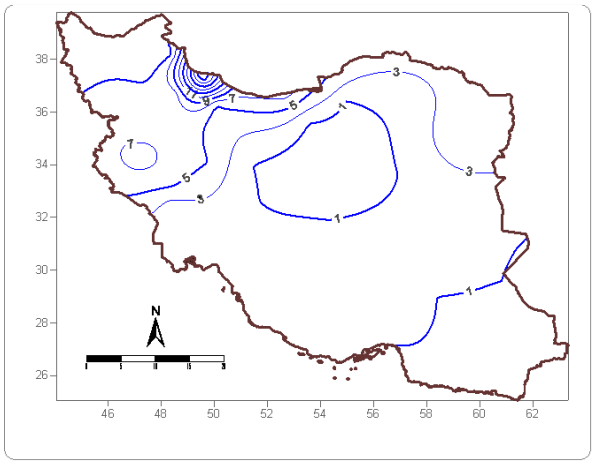
Archive of SID



شکل ۲- توزیع فضائی فراوانی بارش‌های دو روزه دوره سرد ایران



شکل ۳- توزیع فضائی فراوانی بارش‌های سه روزه دوره سرد ایران



شکل ٤- توزیع فضائی فراوانی بارش‌های چهار روزه دوره سرد ایران

تداوم بارش‌های چهار روزه ایران نسبت به دیگر تداوم‌های مطالعه شده دارای فراوانی بسیار کمتری است. به طوریکه قسمت اعظم ایران به استثنای نواحی شمالی، فراوانی کمتر از ۳ بار تکرار در سال را دارا هستند (شکل ٤). اما ضریب تداوم بارش‌های چهار روزه حاکی از عدم خود همبستگی تداوم‌های چهار روزه در تمام ایران به جز نواحی شمالی است. پس با این اوصاف به جز نواحی شمالی ایران، تداوم بارش‌های چهار روزه خاصیت خودهمبستگی نداشته و این سری زمانی نیز جز سری‌های زمانی بینوم مستقل (تصادفی) خواهد بود. جدول ۷ ضریب تداوم هر یک از ایستگاه‌ها را برای تداوم‌های دو، سه و چهار روزه نشان می‌دهد. همچنین تداوم‌هائی که منفی یا صفر و نزدیک صفر بوده اند با رنگ زرد و تداوم‌هائی که به وسیله آزمون χ^2 مورد تایید قرار نگرفته اند با رنگ قرمز نشان داده شده اند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- ضرایب تداوم بارش‌های دو، سه و چهار روزه دوره سرد ایران به همراه نتایج آزمون χ^2

دوره سرد			ایستگاه	دوره سرد			ایستگاه
چهار روزه	سه روزه	دو روزه		چهار روزه	سه روزه	دو روزه	
۰/۰۵	-۰/۰۵	۰/٤	بندر انزلی	۰	-۰/۱۲	۰/۳٤	سقز
-۰/۰٤	-۰/۰۹	۰/۲۹	اردبیل	۰/۰۳	-۰/۱۹	۰/۳۲	سنندج
۰/۰۵	-۰/۱۹	۰/۳۲	اراک	۰/۱۲	-۰/۱٦	۰/۲۲	اصفهان
۰/۰۱	-۰/۰۹	۰/۳۳	قزوین	۰/۰۷	-۰/۰۷	۰/۳۷	خوی
۰/۱۱	-۰/۱۵	۰/۳٤	بندرعباس	۰/۱۲	-۰/۱۲	۰/۳۵	جاسک
۰/۰۳	-۰/۱۱	۰/۳۲	همدان	۰/۱۵	-۰/۰۷	۰/۳۸	رشت
۰/۰٤	-۰/۰۷	۰/۲٦	زابل	۰/۰٤	-۰/۰۸	۰/۲۲	سمنان
۰/۰۵	-۰/۱۹	۰/۳٤	خرم آباد	۰/۱۷	-۰/۰۹	۰/۳٤	بندر لنگه
۰/۰۹	-۰/۰۷	۰/۳۳	کرمان	۰/۲۹	۰/۰۳	۰/۲۹	چابهار
۰/۰۳	-۰/۱۱	۰/۲۹	تبریز	۰/۲٤	-۰/۰۹	۰/۲۸	ایرانشهر
۰/۱٤	-۰/۱۱	۰/۳۲	تهران	۰/۰۳	-۰/۰٦	۰/۲٤	کاشان
-۰/۰۳	-۰/۱۱	۰/۳۲	ارومیه	۰/۱۱	-۰/۱۲	۰/۲۷	یزد
۰/۰۷	-۰/۰۹	۰/۲٦	آبادان	۰/۰۵	-۰/۱۵	۰/۲٤	طبس
۰/۰۱	-۰/۲۲	۰/۲۹	شهرکرد	-۰/۰۳	-۰/۱۲	۰/۳	رامسر
۰/۰۳	-۰/۱۳	۰/۳۵	فسا	۰/۰٤	-۰/۱۷	۰/۳٤	مشهد
۰/۰۳	-۰/۱۳	۰/۳۵	کرمانشاه	-۰/۰۳	-۰/۱٤	۰/۳۳	سبزوار
۰/۱۷	-۰/۰٦	۰/۲۵	زاهدان	-۰/۱۵	-۰/۱۵	۰/۳	دزفول
۰/۰۲	-۰/۱۹	۰/۲۵	گرگان	۰/۰۱	-۰/۱٤	۰/۳۲	بیرجند
۰	-۰/۱۳	۰/۳۲	زنجان	۰/۱۲	-۰/۱۳	۰/۳۱	بابلسر
۰/۱۲	۰/۲٤	۰/۳٦	تربت حیدریه	-۰/۰۸	-۰/۱٦	۰/۳	بم
۰/۱	-۰/۰۵	۰/۲۳	شاهرود	۰/۰۹	-۰/۱۳	۰/۲۷	اهواز
۰/۰۸	-۰/۱۳	۰/۳٦	شیراز	-۰/۰٤	-۰/۱۱	۰/۳٤	بوشهر

تداوم روزهای بارش در دوره گرم سال

در دوره گرم سال به تبع استقرار رودباد جنب حاره ای بر روی ارتفاعات البرز، پرفشار جنب حاره ای آزور همه جای ایران را در جنوب کوههای البرز فرا می‌گیرد و سبب تشکیل هوای پایدار بر روی ایران می‌گردد (علیجانی، ۱۳۸۱). در نتیجه در دوره گرم سال نه تنها میزان بارش بلکه تداوم در روزهای بارش نیز کاهش پیدا می‌کند. به طوریکه نواحی مرکزی و جنوبی کشور هوای صاف و خشک را در طول این ایام حکمفرما می‌گردد.

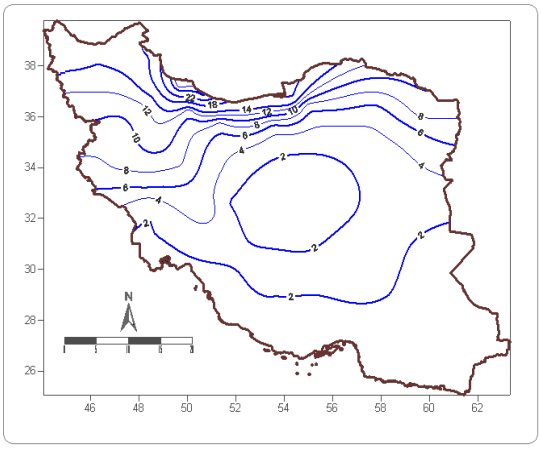
تداوم بارش‌های دو روزه در این ایام از سال نسبت به دوره سرد بسیار کمتر است به طوریکه بیشترین تداوم با فراوانی ۱۸ بار در سال متعلق به شمال ایران است و کمترین آن با فراوانی کمتر از دو بار در سال متعلق به قسمت اعظمی از نواحی مرکزی و جنوبی ایران است (شکل ٤). ضریب تداوم برای بارش‌های دو روزه در ایران نشان می‌دهد که نواحی مرکزی و جنوبی ایران خاصیت خودهمبستگی نداشته اما برای نواحی غرب، شمال غرب، شمال و شمال شرق ایران خاصیت خودهمبستگی وجود دارد (جدول ۸).

www.SID.ir

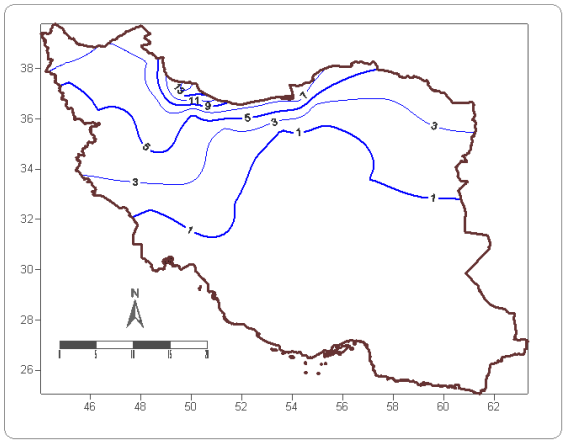
Archive of SID

برای تداوم بارش‌های سه روزه بایستی گفت که بیشترین فراوانی با ۱۸ بار تکرار متعلق به ایستگاه رشت است و بخش عظیمی از کشور نیز فاقد تداوم بارش‌های سه روزه می‌باشند (شکل ٦). ضریب تداوم نیز به جزء برای دو ایستگاه کرمانشاه و سبزوار نشانی از خودهمبستگی نداشته و آنهائی هم که دارای خودهمبستگی بوده اند توسط آزمون χ^2 مورد تایید قرار نگرفته اند.

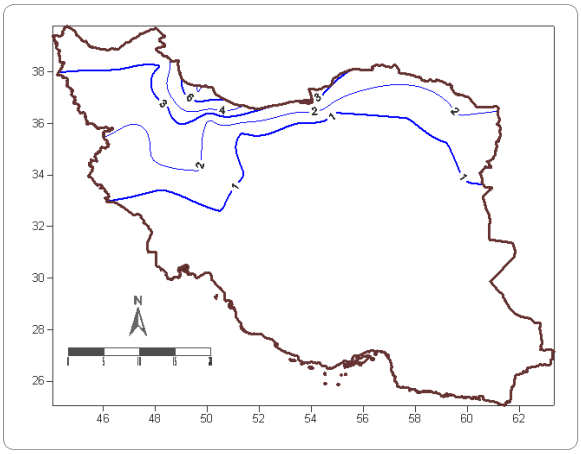
در نهایت بارش‌های با تداوم چهار روز با حداکثر فراوانی ۸ بار در سال متعلق به ایستگاه‌های رشت و بندرانزلی بوده و بقیه نقاط ایران یا فاقد بارش‌های چهار روزه بوده اند یا فراوانی آنها به طور میانگین بیشتر از ۲ بار نبوده است. ضریب تداوم برای بارش‌های چهار روزه ایران محاسبه و هیچگونه خاصیت همبستگی در تداوم بارش‌های چهار روزه مشاهده نگردید. جدول ۸ ضریب تداوم هر یک از ایستگاه‌ها را برای تداوم‌های دو، سه و چهار روزه نشان می‌دهد. همچنین تداوم‌هائی که منفی یا صفر و نزدیک صفر بوده اند با رنگ زرد و تداوم‌هائی که به وسیله آزمون χ^2 مورد تایید قرار نگرفته اند با رنگ قرمز نشان داده شده اند.



شکل ۵- توزیع فضائی فراوانی بارش‌های دو روزه دوره گرم ایران



شکل ٦- توزیع فضائی فراوانی بارش‌های سه روزه دوره گرم ایران



شکل ۷- توزیع فضائی فراوانی بارش‌های چهار روزه دوره گرم ایران

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸- ضرایب تداوم بارش‌های دو، سه و چهار روزه دوره گرم ایران به همراه نتایج آزمون χ^2

دوره گرم			ایستگاه	دوره گرم			ایستگاه
چهار روزه	سه روزه	دو روزه		چهار روزه	سه روزه	دو روزه	
۰/۰۲	-۰/۰۳	۰/۵۱	بندر انزلی	۰/۰۲	۰	۰/٤	سقز
۰/۰۱	-۰/۰۳	۰/۲۸	اردبیل	-۰/۱۲	-۰/۰۱	۰/٤	سنندج
-۰/۰٤	۰/۰٤	۰/۳۷	اراک	-۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۲۷	اصفهان
-۰/۰۳	-۰/۰۲	۰/۳٦	قزوین	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۳٥	خوی
۰/۱۷	۰/۲٤	۰/۱٦	بندرعباس	۰/۷	۰/۰۷	۰/۱۸	جاسک
-۰/۱	-۰/۰۱	۰/٤۱	همدان	-۰/۰۳	-۰/۰۲	۰/۳٦	رشت
۰/۱۱	-۰/۰۲	۰/۲٤	زابل	۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۲۹	سمنان
-۰/۰٥	۰/۰۸	۰/۳۷	خرم آباد	۰	-۰/۲٥	۰/۱۸	بندر لنگه
-۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۳٤	کرمان	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۳۱	چابهار
۰/۰۱	-۰/۰٦	۰/۳٥	تبریز	۰	-۰/۰۹	۰/۱٥	ایرانشهر
-۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۳	تهران	۰/۱	۰/۰۱	۰/۳۳	کاشان
-۰/۰٦	-۰/۰٥	۰/۳٥	ارومیه	۰/۲۹	-۰/۲٥	۰/۲٤	یزد
۰/۰۲	۰/۱	۰/۱۸	آبادان	-۰/۰٥	-۰/۰٦	۰/۳۳	طبس
۰/۰٥	۰/۰۲	۰/۳٥	شهرکرد	-۰/۰۳	-۰/۰۸	۰/۳٤	رامسر
-۰/۱۳	۰/۱	۰/۳۲	فسا	۰/۰٤	۰/۰٤	۰/۳٦	مشهد
-۰/۱۳	۰/۱	۰/۳۲	کرمانشاه	۰/۲۱	۰/۱	۰/۳۲	سبزوار
۰/۲٦	-۰/۰۲	۰/۲٤	زاهدان	-۰/۰۹	-۰/۱۲	۰/۳۱	دزفول
۰/۰٥	-۰/۱۱	۰/۳	گرگان	۰/۰٦	۰/۰۲	۰/۳٥	بیرجند
۰/۰٦	۰	۰/۳٤	زنجان	-۰/۰۱	-۰/۰۷	۰/۳٤	بابلسر
-۰/۱٤	۰/۰٦	۰/۳۲	تربت حیدریه	-۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۲٦	بم
۰	-۰/۰٤	۰/۲٦	شاهرود	۰/۰۱	-۰/۰۹	۰/۳۱	اهواز
-۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۳۱	شیراز	۰/۰٤	-۰/۰۸	۰/۲۹	بوشهر

نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت بررسی تداوم روزهای بارش در ایران زمین از مدل زنجیره مارکوف که یکی از روش‌های پیشرفته آماری مخصوصاً در زمینه تحلیل فرایندهای تصادفی به شمار می‌رود بهره گرفته شد.نتایج به دست آمده از این تحقیق در دو بخش به صورت زیر خلاصه شده است:

دوره سرد سال

- بیشترین فراوانی تداوم بارش‌های دو روزه با میانگین ٥٤ بار تکرار در دوره سرد سال مربوط به ایستگاه بندر انزلی و کمترین آن با میانگین ۳ بار تکرار در سال مربوط به جنوب شرق ایران و ایستگاه چابهار است.
- بیشترین فراوانی تداوم بارش‌های ۳ روزه با میانگین ۳۵ بار تکرار در دره سرد سال مربوط به ایستگاه بندر انزلی و کمترین آن با میانگین کمتر از یک بار متعلق به ایستگاه‌های جنوب شرق ایران همچون بم، زابل، زاهدان، ایرانشهر و چابهار بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

• بیشترین فراوانی تداوم بارش‌های چهار روزه با میانگین ۲۳ بار تکرار در دوره سرد سال مربوط به بندر انزلی و کمترین آن با میانگین ۱ بار تکرار مربوط به بخش عظیمی از ایران مرکزی و سواحل جنوبی ایران است.

• تداوم بارش‌های سه روزه ایران خاصیت خود همبستگی نداشته و از لحاظ ساختار احتمالاتی زنجیره ای از دسته‌های بینوم مستقل است.

• تداوم بارش‌های چهار روزه به جز نوار شمالی ایران خاصیت خودهمبستگی نداشته و این زنجیره نیز جزء سری‌های بینوم مستقل است.

• از آنجائیکه در دوره سرد سال احتمال وقوع روز بارانی مشروط به اینکه روز قبلش نیز بارانی باشد (P_{11}) از احتمال وقوع یک روز بارانی مشروط بر اینکه روز قبلش خشک باشد (P_{01}) به مراتب بیشتر است (پارامتر تداوم همواره مثبت است) بنابراین وابستگی شدیدی بین وقوع بارندگی دریک روز به روز قبلش وجود دارد.

• بهترین مدل آماری از میان سه مدل استفاده شده جهت بررسی تداوم بارش‌های ایران زمین در دوره سرد سال مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالته است.

دوره گرم سال

• بیشترین فراوانی تداوم بارش‌های دو روزه با میانگین ۱۸ بار تکرار متعلق به ایستگاه بندر انزلی و کمترین آن با میانگین فراوانی کمتر از ۲ بار در سال متعلق به قسمت اعظمی از نواحی مرکزی و جنوبی ایران است.

• حداکثر تداوم بارش‌های سه روزه در ایران متعلق به ایستگاه رشت با ۱۸ بار تکرار و قسمت اعظمی از ایران فاقد این نوع بارش‌های سه روزه است.

• بیشترین فراوانی بارش‌های چهار روزه در ایران با حداکثر فراوانی ۸ بار تکرار متعلق به ایستگاه‌های رشت و بندر انزلی بوده و خارج از نوار شمای ایران، دیگر نقاط آن به خصوص در ایران مرکزی و نوار جنوبی فاقد این نوع تداوم در بارش بوده است.

• در دوره گرم سال برای نواحی مرکزی و جنوبی ایران پارامتر تداوم، صفر و یا توسط آزمون χ^2 مورد تایید قرار نگرفت. بنابراین برای این نواحی وابستگی بین بارش امروز بادیروز وجود نداشته یا بسیار کم بوده است. در حالیکه برای شمال، شمال غرب و شمال شرق ایران پارامتر تداوم مثبت و وابستگی بین روزهای بارش وجوددارد.

• پارامتر تداوم برای بارش‌های سه و چهار روزه به جز برای نواحی جنوب غربی دریای خزر برای دیگر نواحی ایران وابستگی وجود ندارد.

• مدل مناسب جهت تحلیل تداوم روزهای بارش در ایران زمین در دوره گرم سال، مدل زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالته است. اما باید توجه نمود که این مدل در نواحی جنوبی و مرکزی ایران برازش مناسبی با داده‌ها نداشته و در مطالعات آینده بایستی با احتیاط و با تقسیم نمودن دوره گرم سال به دوره‌های کوچکتری همچون دوره‌های فصلی یا ماهانه استفاده شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

آشگر طوسی، شادی، امین علیزاده و سهیلا جوانمرد (۱۳۸۲). پیش بینی احتمال وقوع خشکسالی در استان خراسان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۸ (۳(پیاپی ۷۰)): ۱۲۸-۱۱۹.

بابایی فینی، ام السلمه (۱۳۸۲). تحلیل و الگویابی مکانی و زمانی بارش در ایران. رساله دکترای اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.

پاشا، عین ا... (۱۳۸۵). فرایندهای تصادفی. دانشگاه پیام نور، تهران.

جعفری بهی، خدابخش (۱۳۷۸). تحلیل آماری دوره‌های تر و خشک بارندگی در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از زنجیره مارکوف. پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

حجازی زاده، زهرا، شیرخانی، علیرضا (۱۳۸٤). تحلیل و پیش بینی آماری خشکسالی و دوره‌های خشک کوتاه مدت در استان خراسان. پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۲.

دل آرا، قدیر (۱۳۸۷). تحلیل و پیش بینی بارش در استان اردبیل با استفاده از مدل زنجیره مارکف»؛ پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

ذوالفقاری، حسن (۱۳۷۹). تحلیل الگوهای زمانی و مکانی بارش‌های روزانه در غرب ایران با استفاده از روش‌های آماری و سینوپتیک. رساله دکتری اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

رسولی، علی اکبر (۱۳٦۹). آنالیز بارش‌های روزانه در آذربایجان. هفتمین کنگره جغرافی دانان ایران. تهران.

طالشی، عبدالله (۱۳۸٤). مدلسازی بارش‌های سالانه ایران با استفاده از روش زنجیره مارکوف. پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

علیجانی، بهلول (۱۳۷٤). منابع رطوبت بارندگی ایران. دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۳۷٤.

علیجانی، بهلول (۱۳۸۱) آب و هوای ایران. دانشگاه پیام نور، تهران، ۱۳۸۱.

علیجانی، بهلول، جعفرپور، زین العابدین، قادری، حیدر (۱۳۸٤). تحلیل و پیش بینی منطقه لارستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال دوم، ۷.

علیجانی، بهلول، پیمان محمودی، اله بخش ریگی چاهی و پرویز خسروی (۱۳۸۹). بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران با استفاده از زنجیره مارکوف. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۳.

www.SID.ir

Archive of SID

علیزاده، امین (۱۳۸۳). اصول هیدرولوژی کاربردی. مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).

مشکانی، محمد رضا (۱۳٦۳). بررسی احتمال تواتر روزهای خشک بابلسر از دیدگاه بیز تجربی. مجله علوم آب، ۳.

قادرمرزی، حسن (۱۳۸۰). تحلیل و پیش بینی نوسانات آب و هوا در استان کردستان با استفاده از مدل زنجیره مارکف. پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت معلم تهران.

فولادمند، حمید رضا (۱۳۸۵). پیش بینی بارندگی روزانه و سالانه و تعداد روزهای بارانی در سال با استفاده از زنجیره مارکوف در یک منطقه نیمه خشک. مجله علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، سال دوازدهم، ۱.

هاشمی، فریدون (۱۳٤٥). تجزیه و تحلیل استاتیستیکی از بارندگی سالانه، ماهانه و روزانه تهران. تحقیقات علمی هواشناسی کل کشور، تهران.

یوسفی، نصرالله، حجام، سهراب، ایران نژاد، پرویز (۱۳۸٦). برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از زنجیره مارکوف و توزیع نرمال (مطالعه موردی: قزوین).پژوهش‌های جغرافیایی، ٦۰..

Chin, E., (1977). Modeling daily precipitation occurrence process with Markov chain. Water. Resour. Res. 13(6).

Domroes, M and Ranatung, E., (1993). A Statistical approach toward a regionalization of daily rainfall in Sri Lanka. Int. J. Climatol., 43.

Gabriel, K.R. and Neumann, J., (1962). A Markov chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv; QUART. J. ROY. MET. SOC. 88.

Hopkins, J, W., and Robillard, P., (1964). Some statistics of daily rainfall occurrence for the Canadian Prairie Province; J. Appl. Meteorol., Vol, 3.

Jones, P. G. and Thornton, P. K., (1993). A rainfall generator for agriculture applications in the tropics. Agric. For. Meteorol. 63.

Katz, R. W., (1983). Probabilistic models in probability statistics and decision making in the atmospheric sciences. A. H. Narphy and R. W. Katz, west view bulletin.

Lu, Z-Q, and Berliner, L. M., (1999). Markov switching time series models with application to a daily runoff series. Water. Resour. Res. 35.

Martin-Vide, J. and Gomez, L., (1999). Regionalization of Peninsular Spain based on the length of dry spells. Int. J. Climatol., 19.

Moon, S. E., Ryoo, S. B. and Kwon, J. G., (1994). A Markov chain model for daily precipitation occurrence in South Korea. Int. J. Climatol., 14.

Penal, O. C, and Llano, M. P., (2006). Temporal variability in the length of no-rain spells in Argentina. Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do lguaco, Brazil, April 24-28.

Singh, S. V. and Kripalani, R, H., (1984). Analysis and prediction of short period droughts during summer monsoon over India, Mausam, New Delhi.

Steinemann, A., (2003). Drought indicators and triggers: A stochastic approach to evaluation. Journal of the American water resources association (JAWRA),39 (5).

www.SID.ir

Archive of SID

Subramaniam, A. R. and Sanjeeva, R, P., (1989). Dry spell sequences in south coastal Andhra, Mausam, New Delhi.

Todorovic. P. and Woolhieser, D. A., (1975). A stochastic model of n-day precipitation; J. Appl. Prob., 12.

Victor, U. S. and Sastry, P. S., (1979). Dry spell probability by Markov chain model and its application to crop development stages, Mausam, New Delhi.

www.SID.ir