جغرافیا و توسعه شماره ۳۶ پاییز ۱۳۹۳
وصول مقاله : ۱۳۹۰/۸/۷
تأیید نهایی : ۱۳۹۲/۳/۲۴
صفحات: ۹۴- ۸۱

رابطه‌ی حالات بارش با حالات دمای روزانه در ایران

دکتر حسین عساکره[۱]، سعیده اشرفی[۲]، فاطمه ترکارانی[۳]

چکیده

یکی از رویکردهای مطالعاتی در اقلیم شناسی، شناخت روابط عناصر اقلیمی است. در این راستا روش‌های پرشماری به کار گرفته شده است. یکی از این روش‌ها، به کارگیری دانش احتمال برای ردیابی روابط عناصر اقلیمی می‌باشد. هدف تحقیق حاضر بررسی رابطه‌ی حالات دمایی - بارشی روزانه بر اساس روش احتمال شرطی است. برای دستیابی به این هدف داده‌های شبکه‌ای پایگاه داده اسفزاری، ویرایش نخست با تفکیک زمانی روزانه، از ۱۳۴۰/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ که براساس ۱۴۳۶ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی و با روش میانیابی کریگینگ برآورد شده بود، با تفکیک مکانی ۱۵×۱۵ کیلومتر و تعداد ۷۱۸۷ یاخته، مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس توزیع احتمال مربوط به دمای هر یاخته، چندک‌های دما برآورد و صدک‌های ۲۵ و ۷۵ توزیع فراوانی دما برآورد گردید. در هر یاخته، روزهایی که دمای روزانه آن کمتر از صدک ۲۵ بود، به عنوان روزی سرد، روزهایی که دمای آن یاخته برابر یا بیشتر از صدک ۷۵ آن یاخته بود، به عنوان روزی گرم و دمای روزانه‌ی هر یاخته که بین صدک ۲۵ و صدک ۷۵ قرار گیرد، به عنوان روزی با دمای بهینه در نظر گرفته شد. بدین ترتیب مشخصات فصلی دما در این تعریف منعکس شد. براین اساس فصول گرم، سرد و انتقالی برپایه‌ی مشخصات چندکی تعریف شد. بارش نیز به سه حالت بدون بارش، روزهایی که بارش کمتر از میانگین توزیع مربوط به هر یاخته رخ داده (روزهای کم باران) و روزهایی که برابر یا بیشتر از میانگین توزیع هر یاخته (پربارش) بارش تجربه کرده‌اند، در نظر گرفته شد. بدین ترتیب فقدان، کمبود و زیادبود بارش نیز تفکیک شد. در گام بعد فراوانی توأم رویدادهای دمایی و رویدادهای بارشی هر روز در یک ماتریس ارائه شد. سپس ماتریس احتمال توأم هریک از رویدادهای بارشی- دمایی نسبت به هریک از حالات بارشی محاسبه گردید. براین اساس احتمال وقوع هریک از طبقات بارشی در هریک از سه فصل گرم، سرد و انتقالی برای هر یاخته‌ی نقشه‌ی ایران برآورد گردید. در نهایت احتمال شرطی هریک از رخدادهای دمایی با حالت بارش برای هر یاخته محاسبه و نقشه‌ها و تحلیل‌های مربوط به هر حالت ارائه گردید. این ویژگی، حالات بارش را برای هر فصل ارائه می‌کند. نتایج تحقیق حاضر ضمن بیان واقعیت‌های اقلیمی، دستاوردهای اقلیم‌شناسان ایرانی را به لحاظ کمّی - احتمالاتی تأیید و ترسیم نموده است.

بیشینه‌ی بارش‌های فصل سرد در ۳۶ درصد از ایران زمین با احتمال ۴۰-۳۰ درصد و روزهای بدون بارش در حدود ۴۳ درصد از ایران را در بر می‌گیرد. در فصل گرم، حدود ۹۷ درصد از مساحت کشور ۹۰-۵۰ درصد روزها و ۳ درصد از مساحت، ۵۰-۲۰ درصد از روزها بدون بارش بوده‌اند. در همین فصل حدود ۱۷ درصد از سطح کشور ۶۰-۴۰ درصد روزها و حدود ۵۶ درصد از سطح کشور ۴۰-۳۰ درصد از روزها را با بارش کم تجربه می‌کرده‌اند. فصل‌های انتقالی (پاییز و به ویژه بهار)، حدود ۷۸ درصد از مساحت ایران، ۹۰-۶۰ درصد از روزها را بدون بارش و ۳۰-۱۰ درصد از این روزها توأم با بارش‌های سنگین و ۳۰-۲۰ درصد از این روزها با بارش‌های کم مقدار مشخص می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: احتمال، احتمال شرطی، حالات دما و بارش، روز بدون بارش، روز پربارش.

۱- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان (نویسنده مسؤول) asakereh@znu.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز geonot@znu.ac.ir
۳- کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه اصفهان f.tarkarani@ui.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

کنش، واکنش و برهم کنشِ اجزا، عوامل و عناصر اقلیمی در امتداد زمان و مکان، پیکره‌ی اصلی و "حالت" اقلیم را شکل می‌دهد. شناخت این گونه روابط، مطالعه‌ی تداخل عمل بسیاری عناصر، عوامل و پدیده‌های اقلیمی را میسر می‌سازد و نیز جنبه‌های متعددی از سرشت تصادفی سامانه‌ی اقلیم را ارائه خواهد کرد. بررسی سازو کار این رفتارها موجب تکوین دانش اقلیم‌شناسی، روش‌شناسی در این دانش و نیز کاربردهای پرشمار آن شده است. بدین دلیل بررسی و وارسی عناصر اقلیمی و روابط موجود بین این عناصر از ضرورت‌های بنیادی در دانش اقلیم‌شناسی به شمار می‌رود. یکی از رویکردهای پژوهشی در اقلیم‌شناسی توجه به "رابطه‌ی احتمالی" عناصر اقلیمی با یکدیگر است. "رابطه‌ی احتمالی" را می‌توان فرایندی متأثر از زمان و مکان و حاوی تغییر و تنوع دانست. در این رویکرد مباحث "رابطه" و "احتمال" در کانون توجه قرار می‌گیرد.

روابط متغیّرها در ادبیات آماری به همبستگی[1] موسوم است. برای محاسبه همبستگی بین متغیّرها و جهت آن، می‌توان از روش‌های مختلفی بهره‌مند شد. تفاوت روش‌ها از تفاوت مقیاس مشاهدات و متغیّرها ناشی می‌شود.برآورد احتمال نیز از روش‌های پرشماری میسر می‌شود. یکی از روش‌های پرکاربرد، روش درست‌نمایی بیشینه است. در روش درست‌نمایی بیشینه، احتمال یک پیشامد به عنوان حدِ فراوانیِ نسبیِ آن پیشامد تلقی می‌شود *(عساکره، ۱۳۹۰: ۲۴۲)*. برای مثال منظور از این که احتمال بارشِ باران در روزی معین ۰/۳ (۳۰٪) باشد، آن است که در شرایط جوّی روز مفروض از هر۱۰۰ بار۳۰ بار بارندگی رخ داده است *(عساکره، ۱۳۸۷: ۴۹)*. بنابراین "رابطه‌ی احتمالی"، رابطه‌ای است تابع الگوی جغرافیایی (متغیّر در زمان و مکان) است.

بررسی "روابط عناصر اقلیمی با رویکرد احتمالی" از طریق به کارگیری روش‌های "احتمال توأم"[2] و "احتمال شرطی"[3] انجام می‌شود. این روش‌ها طیف وسیعی از روش‌های را در برمی‌گیرد. در این میان روش‌های موسوم به زنجیره‌ی مارکوف از اقبال و استقبال افزون‌تری برخوردار بوده‌اند. درحالی‌که کاربرد رویکردهای دیگر احتمال توأم و شرطی در مطالعات محدودی در سطح ایران و جهان انجام شده است. در این زمینه به عنوان مثال گریفیث و برادلی[4] (۲۰۰۷) با بررسی پنج نمایه‌ی دمایی و پنج نمایه‌ی بارشی شدید و نیز نمایه‌ی نوسانات جنوبی-ال‌نینو (ENSO)[5] در طیّ دوره‌ی آماری ۲۰۰۰-۱۹۲۶ به بررسی حالات مختلف دما، بارش و ENSO پرداخته‌اند. نتیجه کار ایشان نشان داد که ENSO برآوردگری مناسب برای توالی روزهای خشک شمال‌شرق ایالات متحده است. لیون[6] (۲۰۰۹) برای بررسی رفتار خشکی و موج گرمایی آفریقای جنوبی طیّ دوره‌ی آماری ۲۰۰۰-۱۹۶۱ از مدل احتمال توأم بهره گرفت. وی با استفاده از داده‌های بیشینه‌ی دمای روزانه و بارش ماهانه، رفتار امواج گرما، خشکسالی و وقوع توأم آنها را در جنوب افریقا مورد بررسی قرار داد. بررسی‌های وی نشان داد که طیّ دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۱ احتمال وقوع موج گرما ۳/۵ برابر شده است. ییلماز و دل‌سول[7] (۲۰۱۰) احتمال توأم را به منظور بررسی قابلیت پیش‌بینی بارش فصلی به کار گرفتند. ایشان از داده‌های ۲۱ ایستگاه خشکی و ۵ ایستگاه در اقیانوس طیّ دوره‌ی آماری ۲۰۰۸ – ۱۹۷۹ استفاده و با تفکیک حالات بارشی خشک و مرطوب به

1-Correlation

2-Joint Probability
3-Conditional Probability
4-Griffiths and Bradley
5-ElNino-Southern Oscillations
6-Lyon
7-Yilmaz and DelSole

Archive of SID

www.SID.ir

این نتیجه رسیدند که قابلیت پیش‌بینی بارش فصل بهار بیش از فصل‌های دیگر است. فرو[1] (۲۰۰۷) جهت یافتن یک مدل احتمالاتی برای شناسایی برآوردگرهای قطعی رویدادهای فرین از احتمال توأم پیش‌بینی‌ها و مشاهدات بر پایه تئوری‌های فرین استفاده کرد.

در ایران به کارگیری احتمال شرطی عموماً براساس روش زنجیره‌ی مارکوف انجام شده است. به عنوان مثال می‌توان به مطالعه‌ی آشگر و همکاران (۱۳۸۲) در واکاوی خشکسالی استان خراسان و دانشور و همکاران (۱۳۸۵) برای تحلیل احتمال خشکسالی شرق و جنوب شرق کشور، عساکره (۱۳۸۹) جهت بررسی احتمال وقوع یخبندان‌های زودرس و دیررس شهر زنجان و نیز عساکره و مازینی (۱۳۸۹) به منظور تحلیل احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان اشاره کرد.

هدف اصلی پژوهش حاضر به کارگیری تکنیک احتمال توأم - شرطی در راستای آشکارسازی رابطه‌ی حالات دما- بارش در ایران زمین است. زیرا رخداد بسیاری از رویدادهای اقلیمی به شکل توأم محتمل فرض شده است و نیز فرض می‌شود که گاهی وقوع یا عدم وقوع یک حادثه بر فراوانی یا احتمال وقوع حادثه‌ی دیگر اثر می‌نهد. بدین ترتیب کارآیی روش احتمال توأم و شرطی در بررسی روابط عناصر اقلیمی مذکور و حتی توزیع زمانی - مکانی آن‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های شبکه‌ای پایگاه داده اسفزاری ویرایش نخست که در دانشگاه اصفهان و به وسیله‌ی دکتر سید ابوالفضل مسعودیان در سال ۱۳۸۵ طراحی شده، بهره برده‌ایم. داده‌های شبکه‌ای دما و بارش روزانه‌ی ایران که از این پایگاه داده برداشت شده دارای تفکیک زمانی روزانه و از ۱۳۴۰/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ است. تفکیک مکانی داده‌ها ۱۵×۱۵ کیلومتر است که در سیستم تصویر لامبرت مخروطی هم‌شکل نگاشته شده‌اند. این سیستم تصویر پیشنهادی و مورد استفاده سازمان نقشه‌برداری کشور است. با توجه به مختصات یاد شده سراسر ایران با ۷۱۸۷ یاخته پوشیده می‌شود. بر این اساس هریک از داده‌های شبکه‌ای بارش و دمای ایران آرایه‌ای است به ابعاد ۷۱۸۷×۱۵۹۹۲ که با آرایش‌گاه جای[2] (زمان بر روی سطرها و مکان بر روی ستون‌ها) چیده شده است. درایه‌های این آرایه به کمک داده‌های ۱۴۳۶ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی و با روش میانیابی کریگینگ برآورد شده است. پراکندگی مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در شکل ۱ ارائه شده است. برای برآورد داده‌های شبکه‌ای هر روز از داده‌های همه‌ی ایستگاه‌هایی که در آن روز بارش و دما را اندازه‌گیری کرده بودند، بهره‌برداری شده است. بنابراین در برخی روزها تعداد اندازه‌گیری‌ها کمتر و در برخی روزها بیشتر بوده است. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد برای محاسبه‌ی همبستگی بین متغیّرها و جهت آن، می‌توان از روش‌های مختلفی بهره‌مند شد. تفاوت روش‌ها از تفاوت مقیاس مشاهدات و متغیّرها ناشی می‌شود. دو متغیّر ممکن است کیفی، رتبه‌ای یا کمّی باشند و یا یکی کمّی و دیگر، از انواع دیگری باشد. گاهی از طریق تبدیل متغیّرها (کمّی[3] به اسمی[4]، کمّی کمّی به رتبه‌ای[5] و...) رابطه‌ی‌متغیّرها آسان‌تر کشف می‌شود.وقتی متغیّرهای مورد مطالعه در مقیاس اسمی بیان شده باشد، محاسبه ارتباط بین آن‌ها با تشکیل یک جدول متقاطع (توافقی)[6] آغاز می‌شود. در این حالت هر اسم یک طبقه از متغیّر است. طبقات یک متغیّر در امتداد حاشیه چپ و برای متغیّر دیگر در بالا

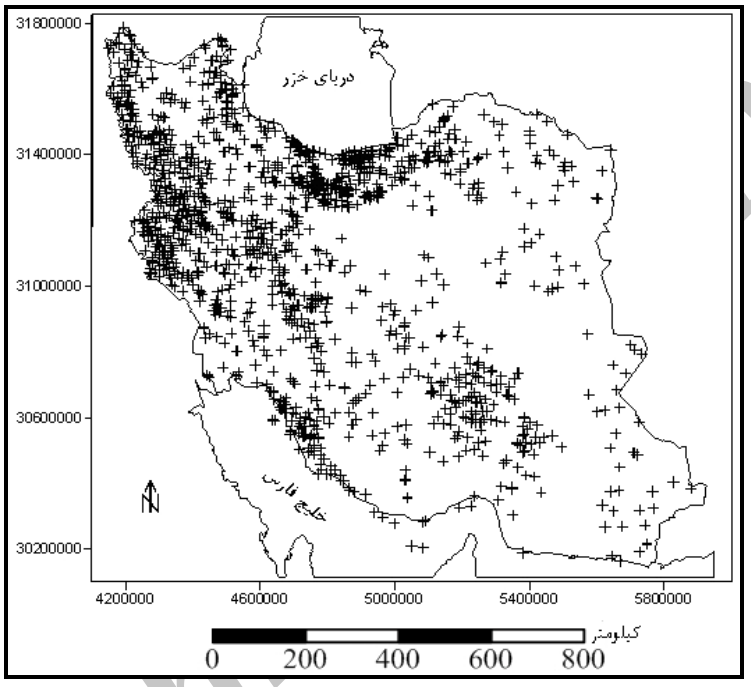
1-Ferro

2-S-Mode
3-Quantity
4-Nominal
5-Ordinal
6-Cross-Tabulated Data

Archive of SID

www.SID.ir

مشخص می‌شود. فراوانی‌ها نیز در سلول‌های جدول جا داده می‌شود. مجموع فراوانی‌ها برای هر ردیف در حاشیه راست و برای هر ستون در حاشیه‌ی زیرین ارائه می‌شود. این دو حاشیه به نام مجموع‌های حاشیه‌ای (کناری)[1] موسومند. این جدول‌ها و محاسبه‌های مربوط، رویه‌ای خاص از همبستگی و کاربردهای آن را ارائه می‌کنند *(آپتون، ۱۳۷۸: ۱۷)*.



شکل ۱: توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در میان یابی

مأخذ: مسعودیان، ۱۳۸۵

از روش‌های برآورد همبستگی، به کارگیری روش احتمال توأم است. در احتمال توأم، علاوه بر فراوانی حادثه A که درتمامی n حالت محاسبه شده است، لازم است فراوانی وقوع حادثه‌ی مزبور در حالت‌هایی که حادثه‌ی مورد نظر دیگری نظیر B نیز رخ داده، محاسبه شود. فراوانی نسبی حادثه A از کل رویدادها که همراه با حادثه B رخ داده را "احتمال توأم" گویند. شانس وقوع یک رویداد نظیر A به‌شرط وقوع رویدادی دیگر نظیر B و بر اساس احتمال توأم را "احتمال شرطی" گویند. در این حالت A رویدادی است که در نظر است بررسی شود و رویداد B اطلاعاتی برای شناخت احتمال رویداد A عرضه می‌کند. رویداد B را اطلاعات پیشین[2] نیز می‌نامند *(Kay, 2006: 89-90)*. به منظور تحلیل توأم و شرطی حالات دما- بارش، مراحل زیر به انجام رسید:

- در گام نخست حالات دما (x) و بارش (y) هر روز تعریف شد؛ دراین راستا ابتدا توزیع فراوانی دما برای هر یاخته در نقشه، مورد بررسی قرار گرفت. سپس بر اساس توزیع احتمال مربوط، چندک‌های دما برآورد و صدک‌های ۲۵ و ۷۵ توزیع فراوانی دمای روزانه‌ی هر یاخته برای هر روز برآورد گردید.در هر یاخته، روزهایی که دمای روزانه آن کمتر از صدک ۲۵ دمای آن یاخته بود، به عنوان روزی سرد (C) در آن یاخته تلقی شد. به

1-Marginal Sum
2-Prior Knowledge

www.SID.ir

همین ترتیب روزهایی که دمای آن یاخته برابر یا بیشتر از صدک ۷۵ آن یاخته بود، به عنوان روزی گرم (H) به حساب آمد. دمای روزانه‌ی هر یاخته که بین صدک ۲۵ و صدک ۷۵ قرار گیرد، به عنوان روزی با دمای بهینه (M) در نظر گرفته شد. این تقسیم‌بندی موجب می‌شود که مشخصات عمومی دمای فصول ظاهر شود. بدیهی است که روزهایی از سال که از دمای صدک ۲۵ ام دما کمتر باشد، روزهایی سرد تلقی می‌شوند. این روزها عمدتاً مربوط به فصل زمستان هستند. همچنین دمای روزهایی از سال که بیش از صدک ۷۵ ام باشد، به عنوان روزهای تابستانی در نظر گرفته می‌شوند. بالاخره دمای روزهایی که بین این دو آستانه قرار گیرند مربوط به فصول گذار (پاییز و بهار) است. بنابراین در واقع روزهای سال برای هر یاخته به روزهای زمستانی،تابستانی و بهاری- پاییزی طبقه‌بندی شدند. سپس برای بارش نیز یک طبقه‌بندی صورت گرفت. در این بخش روزهای فاقد بارش (D) برای هر یاخته در یک طبقه قرار گرفتند. توزیع فراوانی بارش در روزهای بارانی برای هر یاخته و میانگین هر توزیع محاسبه شد. روزهایی که بارش کمتر از میانگین توزیع مربوط داشته‌اند به عنوان روزهای کم‌باران (L) و روزهایی که برابر یا بیشتر از میانگین توزیع مربوط، بارش را تجربه کرده‌اند، به عنوان روز پرباران (W) در نظر گرفته شد.

- در گام دوم فراوانی توأم حالات دمایی و بارشی هر روز دریک ماتریس توأم ۳×۳ به شکل رابطه‌ی (۱) ارائه شد. دراین ماتریس برای مثال f_{11} فراوانی توأم رخداد روزهای بدون بارش و سرد (دمای کمتر از صدک ۲۵توزیع مربوط)، f_{12} فراوانی رخداد روزهای بدون بارش و دمای بهینه (دمای بین صدک ۲۵ و صدک ۷۵ توزیع مربوط)،... و f_{33} فراوانی توأم روزهای پربارش (بارش برابر با یا بیش از میانگینِ توزیعِ مربوط) و گرم (دمای بیش از صدک ۷۵ توزیع مربوط) است.

(۱)

$$F=\begin{array}{c} \\ D \\ L \\ W \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} C & M & H \end{array} \\ \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix} \end{array}$$

- در گام سوم ماتریس احتمال توأم هریک از رویدادهای بارشی- دمایی نسبت به هریک از حالات بارشی (براساس ماتریس ارائه شده در رابطه‌ی ۱) و نیز بر اساس رابطه‌ی ۲ محاسبه شد *(Soong, 2004: 49)*:

$$P=F_{XY}(x,y)=P(X\le x\cap Y\le y) \qquad (۲)$$

در این رابطه احتمال این که متغیّر X مقداری کمتر یا برابر با x و متغیّر Y مقداری کمتر یا برابر با y اختیار کند، بیان می‌شود. چون فراوانی نسبی به عنوان تعریف احتمال پذیرفته شد، اعداد هر یک از سلول‌های ماتریس رابطه‌ی ۱ بر مجموع سلول‌ها تقسیم شد؛ برای مثال

$$p_{11}=\frac{f_{11}}{n}\text{ ، }p_{12}=\frac{f_{12}}{n}\text{ و...، }p_{33}=\frac{f_{33}}{n}\text{ .}$$

نتایج برای هر یاخته به‌صورت ماتریس زیر به دست آمد:

(۳)

$$P=\begin{array}{c} \\ D \\ L \\ W \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} C & M & H \end{array} \\ \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{bmatrix} \end{array}$$

این مقادیر، همان احتمال توأم سه حالت دما و بارش است. بدین ترتیب فراوانی نسبی (احتمال) وقوع توأم هر حالت دما- بارشی (نُه حالت) به دست آمد. این مقادیر به عنوان احتمالات تجربی رخداد توأم حالات دمایی- بارشی هریاخته بر نقشه‌ی کشور در نظر گرفته شده است. در واقع p_{11} احتمال اشتراک دو رویداد

Archive of SID

www.SID.ir

دمایی- بارشی (سرد و بدون بارش) است که می‌توان آن را به شکل $P(D\cap C)$ نشان داد. احتمال رخداد توأم دو رویداد نشان از همبستگی آنهاست *(Kay, 2006: 83-86)*. بزرگی این احتمال بیانگر بزرگی همبستگی مذکور است *(Mukhopadhyay, 2004: 10)*

- در گام چهارم احتمال شرطی هر یک از رخدادهای دمایی- بارشی که برای مثال به شکل $P(D/C)$ نشان داده می‌شود، برای هر یاخته محاسبه شد. مفهوم این نماد "احتمال وقوع D به شرط وقوع C" است. بنا به تعریف *(Grimmett & Strirzaker, 2001: 9)*:

(۴)

$$P(D/C)=\frac{P(D\cap C)}{P(C)} \quad ،P(C)\neq 0$$

در این رابطه $P(C)$ به معنی جمع احتمالات برای حالت دمایی C یعنی $p_{11}+p_{12}+p_{13}$ است. بنابراین در احتمال شرطی احتمال یک رخداد بارشی- دمایی خاص ($P(D/C)$) تحت شرایط احتمال یک حالت دما ($P(C)$) مورد نظر است. در سمت راست رابطه‌ی ۴، شرط $P(C)\neq 0$ بیانگر این مطلب است که می‌بایست اطلاعات (حالات) پیشین محتمل باشد. همچنین جمع احتمال برای حالت دمایی M ($P(M)$) به صورت $p_{12}+p_{22}+p_{32}$ و برای حالت دمایی H ($P(H)$) به صورت $p_{13}+p_{23}+p_{33}$ بیان می‌شود. بنابراین نُه حالت احتمال توأم را می‌توان با نُه حالت احتمال شرطی به شکل زیر ارائه کرد *(Wilks, 2006: 261-262)*:

(۵)

$$P(i/j)=\begin{matrix} \\ D \\ L \\ W \end{matrix}\begin{bmatrix} \overset{C}{P(D/C)} & \overset{M}{P(D/M)} & \overset{H}{P(D/H)} \\ P(L/C) & P(L/M) & P(L/H) \\ P(W/C) & P(W/M) & P(W/H) \end{bmatrix}$$

به عنوان مثال $P(D/C)$، احتمال رخداد روز بدون بارش طیّ روزهای سرد را نشان می‌دهد.

- گام ششم مربوط به تهیه‌ی نقشه‌های طبقه‌بندی یاخته‌های مورد بررسی بر اساس نُه حالت ارائه شده در رابطه‌ی ۵ است. در همین گام نقشه‌های مذکور مورد تحلیل قرار گرفت.

کلیه‌ی عملیات محاسباتی در محیط نرم‌افزار مطلب[1] و تمامی عملیات ترسیمی- تولید نقشه در محیط نرم‌افزار سورفر[2] صورت گرفت.

بحث و نتایج

روزهای بدون بارش

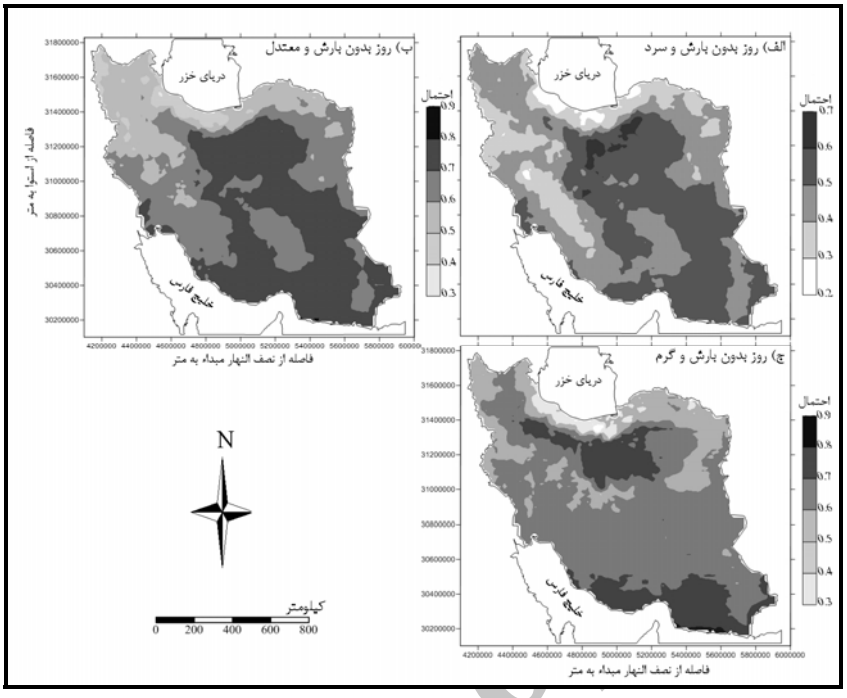
با توجه به آن چه قبلاً گفته شد، سه حالت (سرد، معتدل و گرم) برای روزهای بدون بارش در نظر گرفته شد. توزیع مکانی احتمال رخداد این حالت بارشی در شکل ۲ ارائه شده است. همچنین جدول ۱ درصد پهنه‌هایی که با احتمالات مختلف با این شرایط بارشی مواجه می‌شوند را نشان داده است.

برخی طبقات احتمالاتی (روزهای بدون بارش- معتدل و روزهای بدون بارش-گرم) ادغام شده‌اند. بدین دلیل که تعداد بسیار معدودی از یاخته‌های نقشه‌ها در این دو گروه با احتمال کمتر از ۰/۴و بیشتر از ۰/۸ مشاهده شده است.

1-MATLAB
2-Surfer

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲ : احتمال وقوع روزهای بدون بارش به شرط روزهای سرد، معتدل و گرم

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

شکل ۲ الف توزیع مکانی روز فاقد بارش- سرد را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل و بر اساس جدول ۱ می‌توان دید که در بیشترین پهنه (۷۹/۴ درصد) از مساحت کشور با ۴۰ تا ۶۰ درصد احتمال روز بدون بارش در روزهای سرد رخ می‌دهد. توزیع مکانی این پهنه در نقشه‌ی ۲ الف نشان می‌دهد که این نواحی شامل سواحل جنوبی،شرقی، کویرها و چاله‌های داخلی و شمال‌غرب کشور است. این امر با استقرار پرفشارهای حرارتی فصل سرد بر پهنه‌ی کشور قابل توجیه است *(علیجانی، ۱۳۷۴: ۴۲؛ مسعودیان و کاویانی ، ۱۳۸۷: ۱۶)* حدود ۱۹ درصد از کشور نیز در ۳۰-۲۰ درصد از روزهای سرد بدون بارش بوده است. سواحل شمالی، بخش‌هایی از غرب و شمال غرب کشور و بخش‌هایی از زاگرس مرتفع با کمینه‌ی احتمال فقدان بارش در روز سرد مواجه‌اند. این واقعیت را در سواحل خزر می‌توان به نقش پرفشارهای حرارتی در تأمین بارش نسبت داد *(حسینی،۱۳۸۹: ۱۵۹)*. نقش ارتفاعات در غرب و زاگرس مرتفع امکان ریزش‌های اوروگرافیک را مهیا می‌سازد. این ویژگی‌ها با تفصیل بیشتری به وسیله‌ی علیجانی (۱۳۷۲) بیان شده‌اند.

شکل۲ ب توزیع مکانی روز فاقد بارش و معتدل را نشان می‌دهد. همان بخش‌هایی که در روز سرد فاقد بارش بوده‌اند (بجز پهنه‌ی شمال غرب)، در این حالت نیز با احتمال بیشتر، از بارش بی‌بهره است. علاوه بر این، بخشی از زاگرس که در روزهای سرد، با احتمال کمتری فاقد بارش بود، در این حالت با احتمال بیشتری با خشکی توأم است. در بخش زاگرس مرتفع که بر ارتفاعات کوهرنگ منطبق است، مانند شمال غرب کشور احتمال وقوع روز بدون بارش و معتدل کمتر است. این وضعیت را می‌توان به بارش‌های فصول انتقالی (بهار و پاییز) در این نواحی نسبت داد.

طبق جدول ۱، حدود ۹۵/۷ درصد از مساحت کشور با احتمال۵۰ الی ۹۰ درصد در روز ملایم بدون بارش خواهد بود. کم شدن احتمال روز بدون بارش در

Archive
www.SID.ir

این حالت دمایی برای شمال غرب گویای غلبه‌ی بارش‌های همرفتی در فصول انتقالی (به ویژه بهار) در این پهنه است. این بارش‌ها به وسیله‌ی جهانبخش و ذوالفقاری (۱۳۸۰)، اثبات شده و با تفصیل به وسیله‌ی رزمی (۱۳۸۹) مورد مداقّه قرار گرفته‌اند. وی نشان داده است که شمال غرب در فصول انتقالی از بارش قابل توجهی بهره می‌گیرند(*ذوالفقاری، ۱۳۸۰: ۲۵۸-۲۳۴؛ رزمی، ۱۳۸۹: ۱۶۹-۱۳۱*).

جدول ۱: درصد پهنه‌های بدون بارش به شرط سه حالت مختلف دما

احتمال	۰/۳-۰/۲	۰/۴-۰/۳	۰/۵-۰/۴	۰/۶-۰/۵	۰/۷-۰/۶	۰/۸-۰/۷	۰/۹-۰/۸
روز بدون بارش و سرد	۲/۲	۱۶/۶	۳۷/۸	۴۱/۶	۱/۸	-	-
روز بدون بارش و معتدل	-	۴/۳		۱۷/۹	۳۳/۳	۴۴/۵	
روز بدون بارش و گرم	-	۳		۱۹/۷	۵۷/۸	۱۹/۵	

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

شکل ۲ ج توزیع مکانی روز فاقد بارش و گرم را نشان می‌دهد. دیده می‌شود، روز فاقد بارش و گرم در دو بخش از کشور (سواحل بوشهر تا منتهی‌الیه سواحل دریای عمان و نیز حاشیه مرز شرقی کشور و دوم کویر نمک در امتداد دامنه‌های جنوبی البرز) محتمل‌ترین حالت (با احتمال ۷۰ تا ۹۰ درصد) است. این احتمال بر حدود ۱۹/۵ درصد از مساحت کشور حاکم می‌باشد. عموماً حدود ۹۷ درصد از مساحت کشور با احتمال ۵۰ تا ۹۰ درصد این حالت را تجربه می‌کند (به جدول ۱ نگاه کنید). کمترین احتمال روزهای بدون بارش و گرم در سواحل خزر است. این حالات از سمت غرب به سمت شرق ضمن گسترده شدن پهنه، از سواحل فاصله می‌گیرد. کل این پهنه حدود ۳٪ از مساحت کشور را دربرمی‌گیرد.

روزهای کم‌بارش

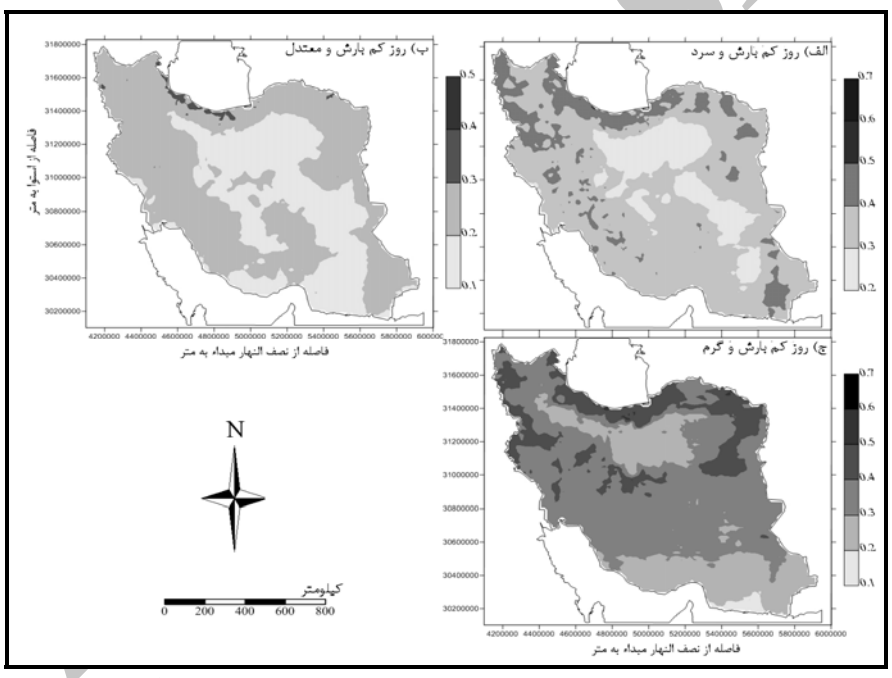
چنان‌که قبلاً نیز گفته شد، روزهای کم بارش برای هر نقطه به روزهایی گفته می‌شود که میزان بارش آنها برای هر یاخته نسبت به میانگین توزیع فراوانی آن یاخته و در همان روز کمتر باشد. شکل ۳ الف توزیع مکانی روز کم‌بارش و سرد را نشان می‌دهد. توجه کنید که کمترین احتمال در کویرهای داخلی مشاهده می‌شود. گستره‌ی این پهنه ۱۷/۴ است. علیجانی معتقد است که در فصل سرد سال نواحی پست مرکزی ایران از هوای سرد پرفشار سیبری انباشته می‌شود (*علیجانی، ۱۳۷۴: ۴۲*). این امر موجب پایداری جوی می‌گردد. ازاین رو نه تنها بارش‌های کم مقدار در این هنگام کمتر محتمل است، بلکه روزهای بدون بارش با احتمال بیشتری امکان وقوع داشته است. همان‌گونه که دیده می‌شود سواحل خزری، شمال‌غرب و غرب کشور، بخش‌های پراکنده بر چکادهای زاگرس و نیز هسته‌هایی از جنوب‌شرق، بالاترین احتمال روزهای توأم با بارش کم و سرد را تجربه می‌کنند. محتمل‌ترین روزهای کم‌بارش و سرد در چهار ناحیه (با حدود ۱۵/۶ درصد از مساحت کشور) قابل مشاهده است: پهنه‌ی نخست شامل سواحل غربی و جنوبی دریای خزر، ناحیه کوهستانی مرز ایران و ترکیه در آذربایجان و کردستان، پهنه‌هایی از جنوب‌شرقی ایران، نواحی پراکنده در شمال‌شرق و نیز نواحی پراکنده و با وسعت کمتر در ارتفاعات زاگرس است. این امر گویای نقش دریای خزر و ارتفاعات بر فرایند ریزش جوی است. در این پهنه ۶۰-۴۰ درصد از روزهای سرد با بارش کم مقدار توأم بوده است (به جدول ۲ نگاه کنید.). روز کم‌بارش و ملایم (شکل۳ ب) ۳۷/۵ درصد از مساحت کشور؛ یعنی: نواحی داخلی (بجز بخش‌هایی از استان

Archive of SID

www.SID.ir

فارس و کرمان) را در بر می‌گیرد. بیشترین احتمالات در کمربند باریکی از سواحل خزر (تا ۱/۲ درصد از مساحت کشور) روزهای کم بارش را با احتمال ۰/۲-۰/۱ در روزهای معتدل تجربه می‌کنند.

روز کم‌بارش و گرم در ۱۷/۳ درصد پهنه‌ی کشور محتمل‌تر است. این پهنه را با تیره‌ترین بخش طیف تیره در شکل ۳ ج می‌توان دید. بیشترین گستره‌ی مربوط به این حالت (۵۶/۴ درصد از مساحت کشور) با احتمال ۳۰-۴۰ درصد بخش‌های داخلی (بجز کویر مرکزی و سواحل جنوبی) را در برگرفته است. کویر مرکزی و سواحل جنوبی کمترین احتمال (۱۰- ۳۰ درصد) را در این حالت دارند. دیده می‌شود که این حالت به صورت کمربندهایی نسبتاً منظم و در امتداد مدارات رخ می‌دهند. این نظم در بالای عرض‌های ۳۰ درجه کمتر است. بطوری که ناحیه‌ی کویر مرکزی و نیز در امتداد البرز شرقی همچون حاشیه‌ی مرزی غرب- شمال‌غرب این نظم برهم خورده و همچنین سواحل جنوبی- جنوب‌شرقی کمترین احتمال این حالات رخ داده است.



شکل ۳ : احتمال وقوع روزهای کم بارش به شرط روزهای سرد، معتدل و گرم

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

جدول ۲: درصد پهنه‌های کم‌بارش به شرط سه حالت مختلف دما

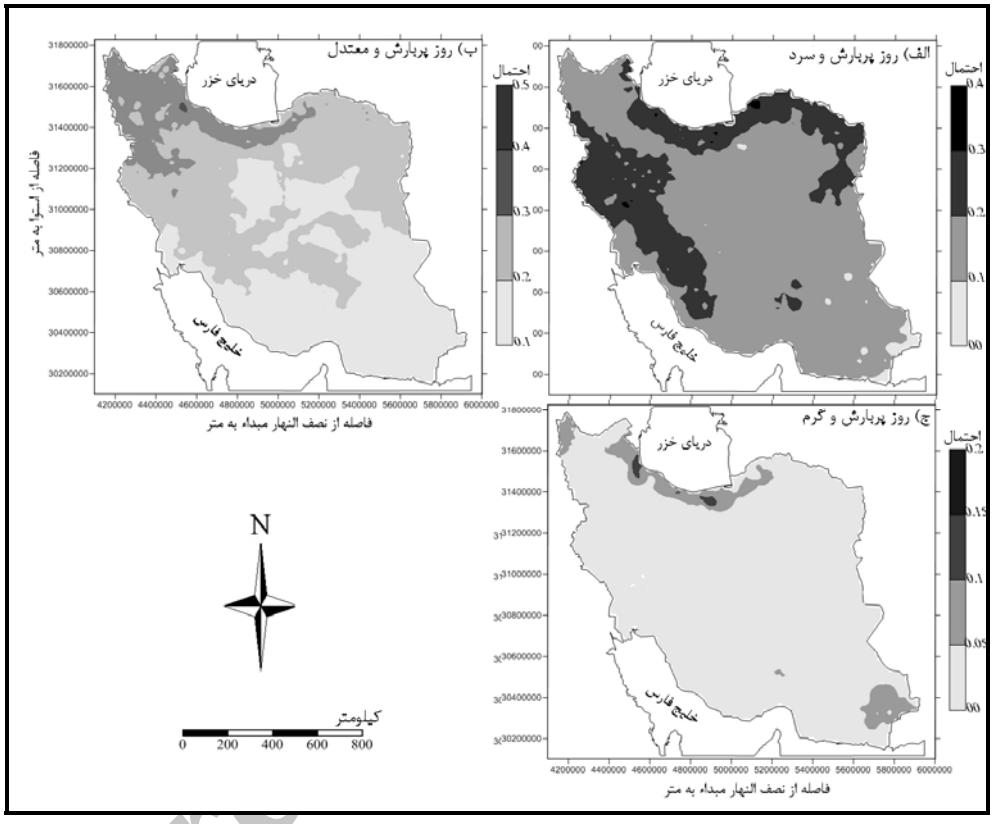
احتمال	۰/۲-۰/۱	۰/۳-۰/۲	۰/۴-۰/۳	۰/۵-۰/۴	۰/۶-۰/۵
روز سرد و کم‌بارش	-	۱۷/۴	۶۷	۱۵/۶	
روز معتدل و کم‌بارش	۳۷/۵	۶۱/۳	۱/۲	-	-
روز گرم و کم‌بارش	۱/۳	۲۵	۵۶/۴	۱۷/۳	

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

www.SID.ir

روزهای پر بارش

طبق تعریفی که قبلاً ارائه شد، روزهای پر بارش برای هر یاخته به روزهایی گفته می‌شود که میزان بارش بیش از میانگین توزیع فراوانی همان روز در آن یاخته باشد. در شکل ۴ این وضعیت برای سه حالت دمایی نشان داده شده است.



شکل ۴ : احتمال وقوع روزهای پر بارش به شرط روزهای سرد، معتدل و گرم

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

دیده می‌شود که محتمل‌ترین رویداد (با احتمال ۰/۴-۰/۲) در این سه حالت، روز پربارش و سرد در گستره‌ای نسبتاً قابل توجه (۳۵/۹ درصد) از مساحت کشور است. این گستره در دو پهنه‌ی نسبتاً پیوسته و دو پهنه‌ی کوچک و گسسته قابل‌مشاهده است. پهنه‌ی اول شامل تمامی سواحل شمالی تا شمال خراسان و شرق خراسان شمالی است. دراین بخش شرایط بارشی تحت تأثیر فعالیّت پرفشارهای حرارتی و جبهه‌های هوایی حاصل از برخورد آن‌ها با کم‌فشارهای‌مدیترانه‌ای می‌باشد*(علیجانی،۱۳۷۴: ۱۴۶)*.پهنه‌ی‌دوم تمامی زاگرس از جنوب آذربایجان غربی تا شمال استان بوشهر را دربرمی‌گیرد. برخورد توده‌های هوای غربی زمستانه با سدّ کوهستانی زاگرس در غرب ایران موجب تکوین بارش پرمقدار می‌شود *(علیجانی، ۱۳۷۴: ۱۴۹-۱۴۷)* همچنین در زمانی که از یک سو پرفشار سیبری و از سوی دیگر فرود دریای سرخ گسترش یافته، شیو شدید فشار در دو سوی زاگرس و صعود هوای گرم و مرطوب از دامنه‌های غربی زاگرس زمینه چرخندزایی عمیق، ناپایداری و ریزش‌های جوی را مهیا می‌سازد *(مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷: ۸۵)*. دو پهنه‌ی گسسته

www.SID.ir

نیز در مرتفع‌ترین ارتفاعات استان کرمان (هزار و لاله زار) قابل مشاهده است. با توجه به سرما و فزونی احتمال ریزش در این پهنه و نیز ارتفاع دو بخش اخیر، می‌توان استنباط کرد که بارش‌ها و به‌ویژه در بخش‌های شمالی عمدتاً به صورت جامد رخ می‌دهند.

جدول ۳: درصد پهنه‌های پر بارش به شرط سه حالت مختلف دما

احتمال	۰/۱ -۰	۰/۲-۰/۱	۰/۳-۰/۲	۰/۴-۰/۳
روز سرد و پرباران	۱/۳	۶۲/۸	۳۵/۹	
روز معتدل و پرباران	۴۳/۷	۴۳/۸	۱۲/۵	–
روز گرم و پرباران	۹۹/۶	۰/۴	–	–

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

شکل ۴- ب توزیع مکانی احتمال روزهای پربارش و معتدل را نشان می‌دهد. پهنه‌ی تحت تأثیر این حالت برای احتمالات مختلف در ردیف دوم جدول ۳ ارائه شده است. دیده می‌شود که این حالت به ویژه در شمال غرب کشور و نیز سواحل شمالی محتمل‌تر است. این وضعیت را می‌توان به بارش‌های همرفت دامنه ای در فصل بهار در شمال غرب و همرفت وزشی در فصل پاییز نسبت داد (*علیجانی ۱۳۷۴: ۱۲۹ و ۱۳۳؛ خلیلی، ۱۳۶۰: ۴۶-۳۹*). این پهنه‌ها که ۱۲/۵ درصد از مساحت کشور را دربر می‌گیرند تنها در ۳۰-۲۰ درصد از روزهای ملایم با بارش زیاد مواجه اند. علاوه بر پهنه‌های یاد شده، خراسان شمالی و بخش‌هایی از خراسان رضوی و استان‌های تهران و قم و بخش‌هایی از فارس،اصفهان و کرمان، استان‌های غربی (کردستان، بخش‌هایی از خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال و بختیاری) با حالت‌های مذکور مواجه‌اند. مجموع این پهنه‌ها ۸۷/۵ درصد از کشور را در بر می‌گیرند. این پهنه‌ها در ۲۰-۰ درصد از روزهای معتدل با بارش‌های زیاد مواجه اند.

چنانکه در شکل ۴- ج و نیز ردیف سوم جدول ۳ می‌توان دید، حدود ۹۹ درصد از مساحت کشور در روزهای گرم پربارش نیستند. در سه بخش گسسته از کشور می‌توان بارش زیاد را در روزهای گرم محتمل دانست. این پهنه‌ها شامل بخشی از غرب شمال غرب ایران، سواحل خزری از آستارا تا گرگان و نیز بخشی از جنوب شرقی کشور است. با این وصف احتمال چنین ریزش‌هایی ۰/۲-۰/۱ است. در واقع حدود ۲۰-۱۰ درصد از روزهای گرم نواحی یاد شده بارش‌های پر مقدار را تجربه کرده‌اند.

بخش‌های شمالی کشور در فصل گرم خارج از استیلای پرفشار جنب‌حاره است. در این شرایط وقتی جو بالا مساعدتر باشد، برای مثال؛ زمانی که حتی یک موج کوتاه خیلی ضعیف در منطقه وجود داشته باشد، اثر ناپایداری حرارتی سطح زمین تشدید و موجب ریزش جوی می‌شود *(کاویانی و علیجانی، ۱۳۷۹ : ۲۳۸)*. در جنوب‌شرقی ایران نیز سامانه‌های موسمی موجب ریزش فصل گرم می‌گردند. این سازوکارها به وسیله‌ی اقلیم‌شناسان پرشماری بررسی شده است *(سلیقه، ۱۳۸۰: ۲۳۶-۲۲۱)*.

نتیجه

با وجودی که بسیاری رخدادهای اقلیمی، رفتاری به ظاهر تصادفی نشان می‌دهند اما از مشاهده پیاپی آنها آگاهی‌های مفیدی به دست می‌آید. از این رو امکان برآورد و تخمین احتمال وقوع آن رخدادها میسر می‌شود. دانش احتمال از ابزار مفید برای ردیابی پدیده‌های مذکور است. یکی از کاربردهای نظریه‌ی

Archive of SID

www.SID.ir

احتمال در این زمینه، وارسی و بررسی روابط احتمالی متغیّرها (نظیر رابطه‌ی دو عنصر اقلیمی) است. این امر از طریق به کارگیری قضیه احتمال شرطی میسر است. در تحقیق حاضر از طریق به کارگیری رویه‌ی احتمال شرطی، رابطه‌ی دما- بارش در ایران زمین بررسی و وارسی شد. نتایج این تحقیق مشاهدات، بررسی‌ها و نتایج حاصل از مطالعه‌ی پیشین اقلیم‌شناسان را در خصوص توزیع زمانی و رژیم بارش‌های ایران تأیید نمود. علاوه بر آن کاربرد روش احتمالاتی، فراوانی نسبی رویدادها را به لحاظ کمّی مشخص کرد. از آن جا که طول دوره‌ی آماری به کار رفته در تحقیق حاضر نسبتاً طولانی (۴۴ سال) است، مشخصات به دست آمده از تحقیق را می‌توان ویژگی‌های اقلیمی ایران دانست. این مشخصات به شرح زیر عبارت است از:

۱- بیشینه‌ی بارش‌های فصل سرد در سواحل خزری، زاگرس شمالی- جنوب غربی و کمینه‌ی آن در بخش عمده‌ای از ایران مرکزی محتمل‌تر است. این پهنه حدود ۳۶ درصد از ایران زمین را در بر می‌گیرد و ۴۰-۳۰ درصد از روزهای سرد پربارش بوده است. حدود ۴۳ درصد از ایران در روزهای سرد بدون بارش و ۷۰-۴۰ درصد روزهای سرد فاقد بارش بوده‌اند. این امر گویای سهم پرفشارهای حرارتی در پایداری جوی ایران است. در حالی که نقش برهم کنش سامانه‌های مذکور با دریای خزر و کوهستان زاگرس موجب ظهور ویژگی‌های متفاوتی شده است.

۲- در فصل گرم، سواحل جنوبی، کوهپایه‌های جنوبی البرز و کویر مرکزی روزهای بدون بارش را با احتمال بیشتری تجربه می‌کنند. حدود ۹۷ درصد از مساحت کشور ۹۰-۵۰ درصد روزهای‌گرم و ۳ درصد از مساحت ۵۰-۲۰درصد از روزهای‌گرم را بدون بارش می‌گذرانند. درحالی که طیّ همین فصل حدود ۱۷ درصد از سطح کشور ۶۰-۴۰ درصد روزهای گرم و حدود ۵۶ درصد از سرزمین ما۴۰-۳۰درصد از روزهای گرم را با بارش کم، تجربه می‌کرده‌اند. تنها بخش‌هایی خاص روزهای گرم را توأم با بارش‌های زیاد دیده‌اند. عموماً در این بخش‌ها نیز حداکثر ۲۰ درصد از روزهای گرم را شامل می‌شود.

۳- فصل‌های انتقالی(پاییز و به‌ویژه بهار)، در بخش‌های عمده‌ای از کشور (حدود ۷۸درصد از مساحت ایران) ۹۰-۶۰ درصد از روزها را بدون بارش می‌گذرانده‌اند. سرزمین‌های حاوی بارش نیز ۳۰-۱۰ درصد از روزهای معتدل را توأم با بارش‌های سنگین و ۳۰-۲۰ درصد از این روزها را با بارش‌های کم مقدار تجربه می‌کرده‌اند.

منابع

- آپتون، گراهام (۱۳۷۸). تحلیل داده‌های جدول‌بندی متقاطع (جداول توافقی)، ترجمه منوچهر خردمندنیا و محمدحسین علامت‌ساز.چاپ اول.اصفهان. انتشارات جهاد دانشگاهی.
- آشگرطوسی، شادی؛ امین علیزاده؛ سهیلا جوانمرد (۱۳۸۲).پیش‌بینی احتمال وقوع خشکسالی در استان خراسان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۷۰.
- دانشور، محمدرضا؛ عبدالرسول توکلی؛ محمدرضا دانائیان(۱۳۸۵). تحلیل دوره‌های بازگشت خشکسالی در شرق و جنوب‌شرق کشور، نیوار. شماره ۶۲ .
- جهانبخش‌اصل، سعید؛ حسن ذوالفقاری (۱۳۸۰). بررسی الگوهای سینوپتیک بارش‌های روزانه در غرب ایران،فصلنامه‌ی تحقیقات‌جغرافیایی.شماره‌ی۶۳-۶۴.
- حسینی، سیدمحمد (۱۳۸۹). شناسایی شرایط همدید همراه با بارش ناحیه پربارش خزری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی. دانشگاه اصفهان. استاد راهنما دکتر سیدابوالفضل مسعودیان.
- خلیلی، علی (۱۳۶۰). منشأ بارندگی‌های خزر، نیوار. سال اول. شماره ۱.
- رزمی، رباب (۱۳۸۹). تغییر رژیم بارندگی آذربایجان ایران، پایان‌نامه‌کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی. دانشگاه زنجان. استاد راهنما دکتر حسین عساکره.

Archive of SID

www.SID.ir

- سلیقه، محمد (۱۳۸۰). نظریه‌های نو در ژنز آب و هوای موسمی، مجله علوم انسانی دانشگاه سیستان و بلوچستان. شماره ۱۶.
- عساکره، حسین (۱۳۸۷). بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در شهر تبریز با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، مجله تحقیقات منابع آب ایران. شماره ۱۱. سال چهارم. شماره ۲.
- عساکره، حسین (۱۳۸۹). احتمال تواتر و تداوم یخبندان‌های زودرس و دیررس در شهر زنجان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی ناحیه‌ای. شماره ۳۷.
- عساکره، حسین؛ فرشته مازینی (۱۳۸۹). بررسی احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۱۷.
- عساکره، حسین (۱۳۹۰). مبانی اقلیم‌شناسی آماری، زنجان. انتشارات دانشگاه زنجان.
- علیجانی، بهلول (۱۳۷۴). آب و هوای ایران، چاپ اول. تهران. دانشگاه پیام نور.
- علیجانی، بهلول (۱۳۷۲). مکانیزم‌های صعود بارندگی‌های ایران، مجله‌ی دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی. دانشگاه تربیت معلم. شماره ۱.
- کاویانی، محمدرضا؛ بهلول علیجانی (۱۳۷۹). مبانی آب و هواشناسی، چاپ دهم. تهران. انتشارات سمت.
- مسعودیان، سیدابوالفضل؛ محمدرضا کاویانی (۱۳۸۷). اقلیم‌شناسی ایران، چاپ اول. اصفهان. انتشارات دانشگاه اصفهان
- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۵). داده‌های شبکه‌ای دما و بارش روزانه از ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۰/۱۱ ۱۳۸۳ با تفکیک‌زمانی روزانه و تفکیک‌مکانی۱۵×۱۵ کیلومتر.
- Ferro, Christopher A.T (2007). A Probability Model for Verifying Deterministic Forecasts of Extreme Events, Weather and Forecasting, Vol 22.
- Griffiths, Michaell and Bradley, Raymond. S (2007). Variations of Twentieth- Century Temperature and Precipitation Extreme Indicators in the Northeast United States, Journal of Climate, Vol 20.
- Grimmett, Geoffry and Strirzaker, David (2001). Probability and Random Processes, Third Edition. Oxford University Press. UK.
- Kay. Steven.M (2006). Intuitive Probability and Random Processes Using MATLAB, Springer. U.S.A.
- Lyon, Bradfield (2009). Southern Africa Summer Drought and Heat Waves: Observations and Coupled Model Behavior, J. Climate, Vol 22.
- Mukhopadhyay. Nitis (2004). Probability and Statistical Inference. Marcel Dekker, INC. NEW YORK.U.S.A
- Soong.T.T(2004). Fundamentals of Probability and Statistics for Engineers, John Wiley & Sons Ltd, England.
- Wilks, Daniel.S (2006). Statistical Methods in the Atmospheric Science, Second Edition. Academic press. Elsevier Inc. U.S.A.
- Yilmaz, M. Tugrul, Timothy DelSole (2010). Predictability of Seasonal Precipitation Using Joint Probabilities, J. Hydrometeor, 11.

Archive of SID

www.SID.ir