دو فصلنامه آب و هواشناسی کاربردی، سال ۱، شماره ۱، پاییز و زمستان ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱

حسین عساکره، دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه زنجان **H. Asakereh, PhD**

E-mail: asakereh1@yahoo.com

وصول: ۱۳۹۳/۹/۱۴ **پذیرش:**۱۳۹۳/۱۰/۲۵
صص: ۲۶-۱۳

کاربرد حالات دمای روزانه در پیش‌بینی حالات بارش روز بعد ایران

چکیده

این پژوهش می‌کوشد حالت دمایی یک روز، در پیش‌بینی حالت بارشی روز بعد را بر اساس روش احتمال شرطی بررسی کند. برای دستیابی به این هدف داده‌های شبکه‌ای با تفکیک زمانی روزانه، از ۱۳۴۰/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ و با تفکیک مکانی (یاخته‌های) ۱۵×۱۵ کیلومتر، به کار گرفته شد. براساس توزیع احتمال مربوط به دمای هر یاخته و هر روز، صدک های ۲۵ و ۷۵ توزیع فراوانی دمای روزانهٔ هر یاخته برای هر روز برآورد گردید. در هر یاخته، روزهایی که دمای روزانهٔ آن کم تر از صدک ۲۵ دمای همان روز بود، به عنوان روزی سرد، روزهایی که دمای آن یاخته برابر یا بیش تر از صدک ۷۵ آن یاخته و همان روز بود، به عنوان روزی گرم و دمای روزانهٔ هر یاخته که بین صدک ۲۵ و صدک ۷۵ همان روز قرار گیرد، به عنوان روزی با دمای معتدل در نظر گرفته شد. روزهای فاقد بارش روزهایی که بارش کم تر از میانگین توزیع مربوط به هر یاخته و روز داشته‌اند، روزهای کم باران و روزهایی که برابر یا بیش تر از میانگین توزیع هر یاخته و روز، بارش را تجربه کرده اند، به عنوان روز پرباران در نظر گرفته شد. در گام بعد فراوانی توأم رویدادهای دمایی هر روز و رویدادهای بارشی روز بعد برای هر یاخته در یک آرایه ارائه شد. سپس آرایهٔاحتمال توأم هریک از رویدادهای دمایی - بارشی نسبت به هریک از حالات بارشی محاسبه شد. در نهایت احتمال شرطی هر یک از رخدادهای دمایی با حالت بارش روز بعد برای هر یاخته محاسبه شد. در نهایت نقشه ها و تحلیل‌های مربوط به هر حالت ارائه گردید. براساس یافته‌های این تحقیق معلوم شد که احتمال توأم رخداد حالات دما و حالات بارش در سرزمین ایران علی‌رغم کم بود همبستگی و فقدان قابلیت اعتمادِ قابل توجه، حاوی الگوی زمانی – مکانی است. با این وصف پیش‌بینی بارش هر روز براساس دمای روز قبل محتمل تر از روزهای پیشین است. در برخی مکان‌ها نظیر سواحل جنوبی ایران به ویژه سواحل دریای عمان و نیز سواحل خلیج فارس در بوشهر روزهای پربارش بعد از روز سرد محتمل تر است. در حالی که در شمال غرب کشور، شمال تنگه هرمز، سواحل خوزستان و نیز ناحیه سیستان روزهای بدون بارش بعد از روز سرد محتمل‌تر می‌باشد. روزهای بدون بارش بعد از یک روز معتدل در جنوب و غرب خوزستان و نیز در نواری نسبتاً عریض از غرب تنگه هرمز تا جنوب بلوچستان بیش از ۸۰ درصد مواقع، محتمل است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، احتمال توأم، احتمال شرطی، حالات دما و بارش، توزیع فراوانی

طرح مسئله

بررسی سرشتِ عناصر و پدیده‌های آب و هوایی و آینده‌نگری آن‌ها در کانون علاقه‌ی بسیاری از آب و هواشناسان است. دراین راستا از علوم، ابزار و روش‌های گوناگونی بهره گرفته شده است. یکی از این علوم، «دانش احتمال» و نیز ابزار و روش‌های مرتبط با آن است. کاربردِ نظریه‌ی احتمال در آب وهواشناسی، در بسیاری مواقع رفتار اغلب رویدادهای آب و هوایی به ظاهر غیرقطعی را به شکل قانون‌مند ارائه و به تصمیم‌گیری مدیران و آینده‌نگری برنامه‌ریزان کمک می‌کند؛ زیرا از مشاهدهٔ پیاپی پدیده‌های مورد بحث آگاهی‌های سودمندی به دست می‌آید.

یکی از کاربردهای «*دانشِ احتمال*» در آب و هواشناسی، آینده نگری احتمالاتی حالاتِ عناصر آب و هوایی است. آینده‌نگری، جزئی از یک سامان‌ی بزرگ‌تر به نام «مدیریت و برنامه‌ریزی» است. از این رو آینده‌نگری عناصر آب و هوایی بنیادی مهم در مدیریت و برنامه‌ریزی مبتنی بر دانسته‌های آب و هوایی به شمار می‌آید. برای مثال مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری وعموماً مدیریت زراعی، براساس احتمال رخداد بارش در کنار دانسته‌های دیگر، نتایج بهتری به دست خواهد داد. بااین وصف آینده‌نگری هیچ گاه احتمال خطر و خطا را به طور کامل حذف نخواهد کرد؛ چه بسا قوانین احتمال به ویژه قوانین به کار رفته در مورد عنصر سرکشی مانند بارش نتواند نتیجه‌ی جامع و قابل قبولی را ارائه کند. دراین صورت ارزش این قوانین در شناسایی روش‌ها و نتایج عقیم قابل تأمل خواهد بود. به عبارت دیگر نباید انتظار داشت نتایج پژوهش همی‌شه منجر به تأیید پیش‌فرض‌های اولیه شود.

پیشینه‌ی پژوهش

در کاربرد قوانین احتمال برای پیش‌بینی عناصر آب و هوایی دو رویکرد اساسی وجود دارد: رویکرد نخست به کارگیری شگردهای احتمالاتی بر رویدادها، پدیده‌ها و حالاتِ عناصر آب و هوایی مورد مطالعه و رویکرد دوم استفاده از یک متغیر توضیحی برای آینده‌نگری رویدادها، پدیده‌ها و حالات مذکور است. رویکرد اخیر با استفاده از روش‌های «احتمال توأم »[1] و «احتمال شرطی»[2] به کار گرفته می‌شود. شناخت این گونه رخدادها مطالعه تداخل عمل بسیاری از عناصر، عوامل و پدیده‌های آب و هوایی را میسر می‌سازد و نیز جنبه‌های متعددی از سرشت تصادفی سامانهٔ آب و هوا را ارائه خواهد کرد. برهمی‌ن اساس به مدیریت و آینده‌نگری مبتنی بر دانسته‌های آب و هوایی کمک می‌کند.

در احتمال توأم، علاوه بر فراوانی رخداد رویداد A که درتمامی n حالت محاسبه شده است، لازم است فراوانی رخداد آن در حالت‌هایی که رویداد دیگری مانند B نیز رخ داده، محاسبه شود. فراوانی نسبی رخداد رویداد A از کل رویدادها که همراه با رویداد B رخ داده را « احتمال توأم» گویند. شانس رخداد یک رویداد مانند A به شرط رخداد رویدادی دیگر مانند B و براساس احتمال توأم را «احتمال شرطی» نامند(عساکره ۱۳۹۰).

یکی از عناصر آب و هوایی که آینده‌نگری آن در کانون توجه اندیشمندان علوم زمی‌ن، دانشمندان آب‌شناس و متخصصین علوم کشاورزی قرار دارد، بارش است. زیرا حالات مختلف بارش یعنی نبود، زیادبود و کمبود آن اثرات

1 - Joint Probability
۲- Conditional Probability

شایان توجهی بر اجزای گوناگون محیط طبیعی و جوامع انسانی (مانند فعالیت‌های اقتصادی و حتی فرایندهای سیاسی و...) به جا می‌نهد. قابلیت پیش‌بینی بارش به دلیل نابهنجار و ناپیوسته بودن آن، در مقایسه با عنصر بهنجاری مانند دما، بسیار دشوار است. اما توان آینده‌نگری بارش حتی به مقدار کم می‌تواند درستنمایی رخداد مخاطرات و پدیده‌های بحران‌زا را تا حد زیادی افزایش دهد. دستیابی به این احتمال، نوعی پایش آب و هوایی به شمار آمده و از ارزش علمی– عملی بالایی برخوردار خواهد بود.

برای پیش‌بینی عناصر آب و هوایی به ویژه بارش تلاش‌ها و پژوهش‌های بسیاری انجام شده است. یکی از رویکردهای مطالعاتی، به کارگیری شگردهای احتمالاتی می‌باشد که مبتنی بر استفاده از جداول توافقی حاصل از تبدیل سری‌های زمانی به فراوانی متغیرهای اسمی‌است. در این روش حالات سری زمانی به صورت طبقات اسمی‌و با فراوانی رویدادها بیان می‌شود(عساکره ۱۳۹۰). لوند و گرانتهام[۳] (۱۹۸۰؛ ۱۰۹۲) برای حصول فراوانی نسبی ده حالت جوی از نه ایستگاه استفاده نمودند. بدین ترتیب یک مدل احتمال توأم (غیر شرطی) را طراحی و توسعه دادند. روش احتمال شرطی در تحلیل دمای سطحی و رطوبت خاک نیز استفاده شده است (کیرتمن و شوف[۴]۱۹۹۸) و کوستر[۵] و همکاران (۲۰۰۰) و کوستر و همکاران (۲۰۰۴)). با وجودی که سطح خشکی‌ها ظرفیت گرمایی کم‌تری نسبت به اقیانوس‌ها دارد، در بسیاری از الگوهای آب و هوایی از رابطه‌ی دمای سطح خشکی‌ها در الگوسازی آب و هوایی بهره گرفته می‌شود (دیرمایر[۶] و همکاران (۲۰۰۹). سیمون[۷] و همکاران ۲۰۰۷) روش پیش‌بینی احتمالاتی و ارزیابی آن را برای متغیرهای طبقه‌ای و رتبه‌ای مانند حالات بارش و دما معرفی و به کار گرفتند. رامی‌رز- برتران[۸] و همکاران (۲۰۰۷) بارش را در ۶ ایستگاه کشور پرتریکو[۹] با طول دوره‌ی ۱۰۱ ساله به سه سطح (بیش از بهنجار، بهنجار و کم‌تر از بهنجار) تقسیم نمودند. سپس الگوریتمی‌نوین برای پیش‌بینی احتمالاتی این سطوح ارائه دادند. این الگوریتم شامل مدل احتمالاتی نظری بود که در آن فراسنج‌ها بسان معادله‌ی رگرسیون حاوی متغیرهای مشاهده شده، بیان گردید. بدین ترتیب نمایه‌های جوی مؤثر در قطعیت پیش‌بینی‌ها برآورد شد. فرو[۱۰] (۲۰۰۷) با هدف کاهش عدم قطعیت پیش‌بینی رویدادهای فرین[۱۱]، نتایج یک مدل احتمال توأم را برای تحلیل پیش‌بینی‌های بارش روزانه استفاده کرد. روش‌های احتمالاتی مورد بحث در تمامی‌مطالعات بالا به عنوان روشی مناسب برای شناخت، تحلیل و مدل سازی آب و هوایی به کار گرفته می‌شود. علی‌رغم توجه پژوهشگران خارجی به رویکرد احتمالاتی، تاکنون پژوهش مشابهی در کشور انجام نشده است. بدین دلیل و با توجه به این که این نوع پژوهش در جهان توانسته است، نتایج مناسبی ارائه کند، ضروری است دریابیم، آیا روش‌های مذکور قابلیت کاربردی در آینده‌نگری عناصر آب و هوایی کشور را دارد؟ در این صورت به عنوان روشی بهینه معرفی تا در مدل‌های آب و هوایی مورد توجه قرار گیرد.

۳- Lund and Grantham
4 - Kirtman and Schopf
5 - Koster
۶- Dirmeyer
7 - Simon
8 - Ramirez-Beltran
۹- Portrico
۱۰- Ferro
۱۱- Extreme

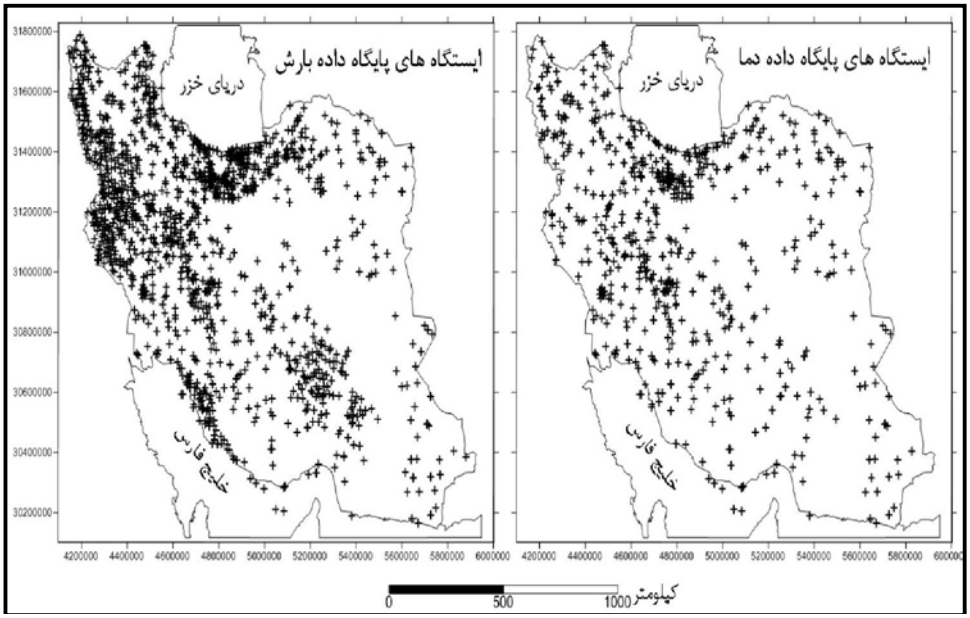
علاوه بر آن چه در بالا گفته شد، به کارگیری احتمال شرطی در پیش‌بینی عناصر آب و هوایی از این واقعیت سرچشمه می‌گیرد که رخداد بسیاری از رویدادهای آب و هوایی به شکل توأم، محتمل فرض شده و نیز فرض می‌شود که گاهی رخداد یا رخنداد یک رویداد بر روی فراوانی یا احتمال رخداد رویدادی دیگر اثر می‌نهد. از این رو در پژوهش حاضر، شگرد احتمال شرطی برای پیش‌بینی بارش به کارگرفته می‌شود. بدین ترتیب تلاش می‌شود توزیع مکانی احتمال هریک از حالات بارش (بی‌بارش، کم‌بارش و پربارش) روزانه‌ی ایران براساس حالات دمای (سرد، معتدل و گرم) یک روز قبل پیش‌بینی شود. هرچند پیش‌بینی یک روزه‌ی بارش بر اساس روش‌های رقومی‌و با استفاده از نقشه‌های همدید روزانه به وسیله‌ی تشکیلات، مؤسسات و متخصصین علوم جوی، می‌سر و مهیاست، اما در پژوهش حاضر ضمن ردیابی توزیع مکانی رابطه‌ی دما- بارش با استفاده از کم‌ترین دانسته‌های آب و هوایی، مانند میانگینروزانه‌ی دما، امکان پیش‌بینی بارش روز بعد بررسی می‌گردد.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های شبکه‌ای دما و بارش روزانه‌ی ایران، از پایگاه داده اسفزاری ویرایش نخست که در دانشگاه اصفهان و به وسیله‌ی مسعودیان طراحی گردیده، از بایگانی شخصی ایشان گرفته شده است. این داده‌ها دارای تفکیک زمانی روزانه 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. با توجه به مختصات یاد شده سراسر ایران با ۷۱۸۷ یاخته پوشیده می‌شود. بر این اساس هریک از داده‌های شبکه‌ای دما و بارش ایران آرایه‌ای است به ابعاد ۷۱۸۷× ۱۵۹۹۲ که با آرایش گاه جای[12] (زمان بر روی سطرها و مکان بر روی ستون‌ها) چیده شده است (مسعودیان ۱۳۹۰). درایه‌های این آرایه به کمک داده‌های بارش ۱۴۳۶ ایستگاه همدید، آب و هوایی و باران‌سنجی و داده‌های دمای ۶۶۴ ایستگاه همدید و آب و هوایی و با روش میانیابی کریجینگ برآورد شده است. پراکندگی مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در نگاره‌ی ۱ آمده است. برای برآورد داده‌های شبکه‌ای هر روز از داده‌های همه‌ی ایستگاه‌هایی که در آن روز بارش را اندازه‌گیری کرده بودند، استفاده شده است. بنابراین در برخی روزها تعداد اندازه‌گیری‌ها کم‌تر و در برخی روزها بیش‌تر بوده است.

برای واکاوی توأم و شرطی حالات دما- بارش، از حالات دمای هر روز برای پیش‌بینی حالات بارش روز بعد برای هر یاخته در کشور استفاده شد. به منظور دستیابی به اهداف این پژوهش مراحل زیر به انجام رسید:

12 - S-Mode



نگارهٔ۱) توزیع مکانی ایستگاه های مورد استفاده در میان‌یابی دما و بارش

– در گام نخست حالات دما و بارش برای هر روز تعریف شد. دراین راستا ابتدا توزیع فراوانی دما برای هر یاخته مورد بررسی قرار گرفت. یعنی برازنده‌ترین توزیع برای دمای هر یاخته و برای هر روز از روزهای سال به روش‌های معمول و رایج برازش یافت. سپس براساس توزیع احتمال مربوط، برای هر روز صدک‌های ۲۵ و ۷۵ توزیع فراوانی دمای هر یاخته برآورد گردید. این دو صدک مقادیر آستانه‌ای هستند که شرایط فرین را در یک سری زمانی نشان می‌دهند. زیرا می‌دانیم که در یک سری زمانی به ویژه سری‌های زمانی بلند، ۵۰ درصد مشاهدات حول میانگین و ۲۵ درصد در آستانه‌ی بالا و ۲۵ درصد مشاهدات در آستانه‌ی پایین قرار می‌گیرند. بنابر این در هر یاخته، روزی که دمای روزانه‌ی آن کم‌تر از صدک ۲۵ دمای همان روز بود، به عنوان روزی سرد (C) در آن یاخته تلقی شد. به همین ترتیب روزی که دمای آن یاخته برابر یا بیش‌تر از صدک ۷۵ آن یاخته بود، به عنوان روزی گرم (H) در نظر گرفته شد. دمای روزانه‌ی هر یاخته که بین صدک ۲۵ و صدک ۷۵ قرار گیرد، به عنوان روزی با دمای بهینه (M) تعریف شد. سپس برای بارش نیز یک طبقه‌بندی مشابه صورت گرفت. بدین ترتیب روزهای بی‌بارش (D) برای هر یاخته در یک طبقه قرار گرفتند. سپس توزیع فراوانی بارش در روزهای بارانی برای هر یاخته و هر روز محاسبه و میانگین(امید ریاضی) هر توزیع برآورد شد. روزهایی که بارش آن‌ها کم‌تر از میانگینتوزیع مربوط بود به عنوان روزهای کم‌باران (L) و روزهایی که برابر یا بیش‌تر از میانگینتوزیع مربوط بوده‌اند، به عنوان روز پرباران (W) در نظر گرفته شد. شایان توضیح است که در این بخش از دو خانواده‌ی توزیع آماری شامل توزیع نرمال (توزیع نرمال، توزیع نرمال استاندارد و توزیع لوگ نرمال) و توزیع گاما (توزیع گامای دو پارامتری، توزیع نمایی و توزیع پیرسون) برای برازش به داده‌ها استفاده شد. در این راستا از روش بیشینه‌ی درستنمایی برای برازش و از روش‌های کلموگراف –اسمی‌رنوف و مربع خی برای آزمون نیکویی برازش استفاده شده است.

– در گام دوم فراوانی توأم رویدادهای دمایی هر روز و رویدادهای بارشی روزهای بعد برای هر یاخته، در یک آرایه‌ی ۳ ×۳ به شکل رابطه‌ی (۱) ارائه شد.

$$F = \begin{array}{c} \\ D \\ L \\ W \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} C & M & H \end{array} \\ \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (۱$$

در این آرایه برای مثال f_{11} فراوانی توأم رخداد روزهای بی‌بارش که روز پیش از آن سرد (دمای کم‌تر از صدک ۲۵ توزیع مربوط)، f_{12} فراوانی رخداد روزهای بدون بارش که روز پیش از آن با دمای بهینه (دمای بین صدک ۲۵ و صدک ۷۵ توزیع مربوط)،... و f_{33} فراوانی توأم روزهای پربارش (بارش بیش از میانگین توزیعِ مربوط) که روز پیش از آن با دمای زیاد (بیش از صدک ۷۵ توزیع مربوط) بوده است.

– در گام سوم آرایه‌ی احتمال توأم هریک از رویدادهای بارشی – دمایی نسبت به هر یک از حالات بارشی (براساس آرایه‌ی ارائه شده در رابطه‌ی ۱) و نیز برپایه‌ی رابطه‌ی زیر محاسبه شد (سونگ[۱۳] ۲۰۰۴):

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

در این جا x و y به ترتیب حالت متغیر دما (X) و بارش (Y) هستند (برای مثال گرم و پربارش).

دراین رابطه احتمال این که متغیر X مقداری کم‌تر یا برابر با x و متغیر Y مقداری کم‌تر یا برابر با y را اختیار کند، بیان می‌شود. نتایج برای هر یاخته به صورت آرایه‌ی زیر به دست آمد:

$$P = \begin{array}{c} \\ D \\ L \\ W \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} C & M & H \end{array} \\ \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (۳$$

این مقادیر احتمال توأم دو حالت برای متغیر تصادفی دما و متغیر تصادفی بارش است. با فرض این که فراوانی نسبی را به عنوان درست نمایی بیشینه‌ی[۱۴] احتمال بپذیریم (عساکره ۱۳۹۰)، اعداد هر یک از درایه‌های آرایه‌ی ۱ بر مجموع مشاهدات تقسیم شد؛ برای مثال $p_{11} = \frac{f_{11}}{n}$ ، $p_{12} = \frac{f_{12}}{n}$ ،... و $p_{33} = \frac{f_{33}}{n}$. بدین ترتیب فراوانی نسبی (احتمال) رخداد توأم هر حالت دما – بارش (نُه حالت) به دست آمد. این مقادیر به عنوان احتمالات تجربی رخداد توأم حالات دمایی – بارشی در نظر گرفته شده است. در واقع p_{11} احتمال اشتراک دو رویداد دمایی (امروز) – بارشی (فردا) است که می‌توان آن را به شکل $P(D \cap C)$ نشان داد. احتمال رخداد توأم دو رویداد نشان از همبستگی آن‌هاست. بزرگی این احتمال بیان‌گر بزرگی همبستگی مذکور است (کی[۱۵] ۲۰۰۶ و رامی‌رز – بلتر[۱۶] و همکاران ۲۰۰۷). چگونگی محاسبه‌ی این همبستگی با آماره‌ی χ^2 بیان می‌شود (عساکره ۱۳۹۰). روش‌های آینده‌نگری ممکن است تا اندازه‌ای به طول سری پیش‌بینی (زمان تقدم) بستگی داشته باشند. هر چه زمان تقدم طولانی‌تر باشد، خطای الگوی مورد نظر محتمل‌تر و

۱۳- Soong
۱٤- Maximum Likelihood
۱٥- Kay
۱٦- Ramirez-Beltran

آینده‌نگری غیر قابل اعتمادتر خواهد بود. به منظور آزمون این نظر، آینده‌نگری بارش هر روز براساس دمای یک تا ۳۰ روز قبل آزمون شد. نتایج نشان داد که پیش‌بینی برای بازه‌های بلند در سطح اطمینان ۹۵ درصد قابل اعتماد نیست. از این رو برای آینده‌نگری بارش هر روز، از دمای روز قبل یاری گرفته شد.

- در گام چهارم احتمال شرطی هر یک از رخدادهای دمایی - بارشی که به شکل $P(D_i / C_{i-1})$ نشان داده می شود، برای هر یاخته محاسبه شد. مفهوم این نماد "احتمال رخداد D در زمان i به شرط رخداد C در زمان i-1" است. بنابه تعریف (خیلیوک[۱۷] و همکاران ۲۰۰۵):

$$P(D_i / C_{i-1}) = \frac{P(D_i \cap C_{i-1})}{P(C_{i-1})} \quad P(C_{i-1}) \neq 0 \qquad (۴$$

- دراین رابطه $P(C_{i-1})$ 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 ($P(D_i / C_{i-1})$) تحت شرایط احتمال یک حالت دما در روز پیش از آن ($P(C_{i-1})$) مورد نظر است. در سمت راست رابطه‌ی ۴، شرط $P(C_{i-1}) \neq 0$ بیان‌گر این مطلب است که می‌بایست اطلاعات (حالات) پیشین محتمل باشد. همچنین جمع احتمال برای حالت دمایی M_{i-1} ($P(M_{i-1})$) به صورت $p_{12} + p_{22} + p_{32}$ و برای حالت دمایی H_{i-1} ($P(H_{i-1})$) 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:

$$P(i/j) = \begin{matrix} \\ D \\ L \\ W \end{matrix} \begin{matrix} \overset{C}{} \\ \\ \\ \end{matrix} \begin{bmatrix} P(D_i/C_j) & P(D_i/M_j) & P(D_i/H_j) \\ P(L_i/C_j) & P(L_i/M_j) & P(L_i/H_j) \\ P(W_i/C_j) & P(W_i/M_j) & P(W_i/H_j) \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \overset{M}{} \\ \\ \\ \end{matrix} \quad \begin{matrix} \overset{H}{} \\ \\ \\ \end{matrix} \qquad j = i-1 \qquad (۵$$

تمامی‌مراحل پنج گانه‌ی بالا به کمک یک برنامه‌ی رایانه‌ای در محیط نرم افزار متلب انجام شد. اجرای این برنامه بر روی یک کامپیوتر شخصی حدود ۲۴۰ ساعت زمان صرف کرده است.

- گام ششم مربوط به تهیه‌ی نقشه‌های طبقه‌بندی یاخته‌های مورد بررسی براساس نُه حالت ارائه شده در رابطه‌ی ۱ است. این مرحله با به کارگیری نرم افزار سرفر و نیز نرم افزار آرک جی آی اس انجام شد. در همین گام نقشه‌های مذکور بررسی شد.

بحث

- روزهای بی‌بارش

با توجه به آن چه قبلاً گفته شد، سه حالت (بعد از روز سرد، بعد از روز ملایم و بعداز روز گرم) برای روزهای بی‌بارش درنظر گرفته شد. توزیع مکانی احتمال رخ داد این حالت بارشی در نگاره‌ی ۲ ارائه شده است. همچنین در جدول ۱ درصد پهنه‌هایی که با احتمالات مختلف با این شرایط بارشی مواجه می‌شوند را می‌توان دید.

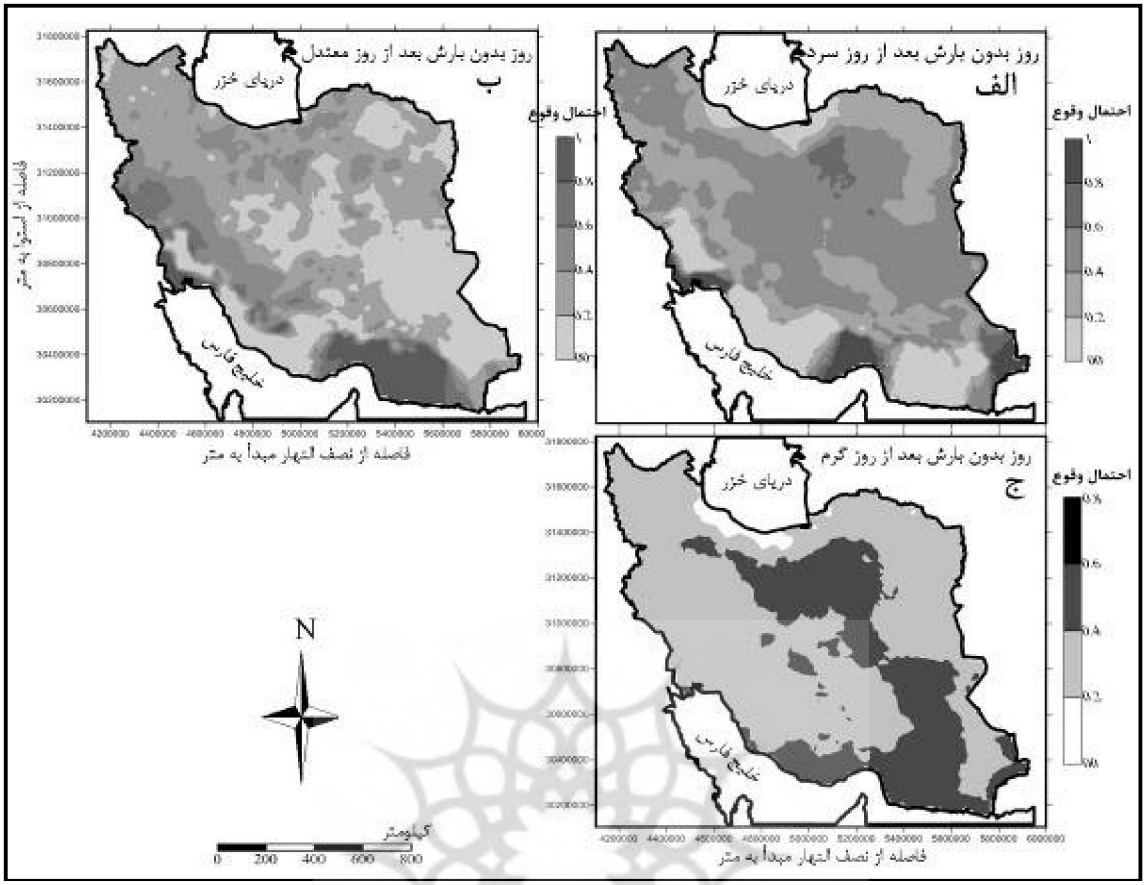
نگاره‌ی ۲ الف توزیع مکانی روز بی‌بارش پس از رخداد یک روز سرد را نشان می‌دهد. با توجه به این نگاره و بر اساس جدول ۱ می‌توان دید که بیش‌ترین پهنه (۴۶ درصد) از کشور تحت تأثیر ۴۰ تا ۶۰ درصد و حدود ۲۹ درصد از

۱۷- Khilyuk

کشور تحت تأثیر ۲۰ تا ۴۰ درصد احتمال روز بی‌بارش پس از یک روز سرد است. این پهنه‌ها عمدتاً منطبق بر نواحی مرتفع و سواحل کشور است. حدود ۱۶ درصد از سطح کشور (جنوب خوزستان، شمال تنگه‌ی هرمز و نیز بخش‌هایی از جنوب‌شرقی ایران عمدتاً در منطقه‌ی سیستان) بیش‌ترین روزهای بی‌بارش (۸۰-۱۰۰ درصد) پس از روز سرد رخ داده است. کم‌ترین احتمال این نوع رخداد در بخش‌های بسیار کوچک (حدود ۳ درصد از پهنه‌ی کشور) ۸۰-۶۰ درصد از روزهای بی‌بارش پس از روز سرد و نیز در سواحل شمالی (حدود ۴ درصد) ۲۰-۰ درصد از روزهای بی‌بارش پس از روزهای سرد رخ می‌داده است. این ویژگی گویای حاکمی‌ت مراکز پرفشار گرمایی و تکوین حالت پایدار جو است (علیجانی،۱۳۷۴ و مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷).

نگاره‌ی ۲ ب، توزیع مکانی روز بی‌بارش پس از روز معتدل را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که نیمه‌ی شمالی و غربی و عموماً غرب – شمال‌غرب کشور بیش‌ترین و به سمت شرق و جنوب به صورت پیوسته و تدریجی روند کاهشی احتمال روز بی‌بارش پس از روز معتدل رخ می‌دهد. در بخشی از سواحل خوزستان و نیز سواحل تنگه‌ی هرمز و سواحل دریای عمان احتمال این حالت مجدداً افزایش و به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد. این بخش با ۱۰۰-۸۰ درصد از روزهای معتدل با روزهای بی‌بارش دنبال می‌شود. بخش‌هایی از خوزستان، بوشهر، فارس و خراسان و نیز بخش‌هایی از بیابان‌های داخلی، شرق و جنوب‌شرق (مجموعاً ۲۷ درصد از مساحت کشور) کم‌ترین احتمال (۰/۲-۰) این حالت را می‌توان دید. این بدین معنی است که در روزهایی که شامل فصول انتقالی (مثل بهار و پاییز) هستند رخداد بارش محتمل است. زیرا در این فصول تلاطم و ناپایداری‌های محلی جو افزون‌تر بوده بارش‌های محلی مورد انتظار است. چنان که نشان داده شده است، این شرایط تا ۸۰ درصد روزهای معتدل را دربر می گیرد. بیش‌ترین پهنه با ۳۷ درصد از مساحت کشور با احتمال ۰/۴-۰/۲ روزهای خشک را پس از روز معتدل تجربه می‌کنند. این پهنه بر گستره‌ی وسیعی از شمال‌غرب، شمال ایران، زاگرس داخلی، بخش‌هایی از فارس، کرمان و نیمه‌ی شمالی خراسان بزرگ حاکم است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



نگاره‌ی۲) توزیع مکانی احتمال رخداد روزهای فاقد بارش بعد از روزهای سرد، معتدل و گرم

جدول۱) درصد پهنه‌های بی‌بارش پس از روزهای سرد، معتدل و گرم برای احتمالات مختلف

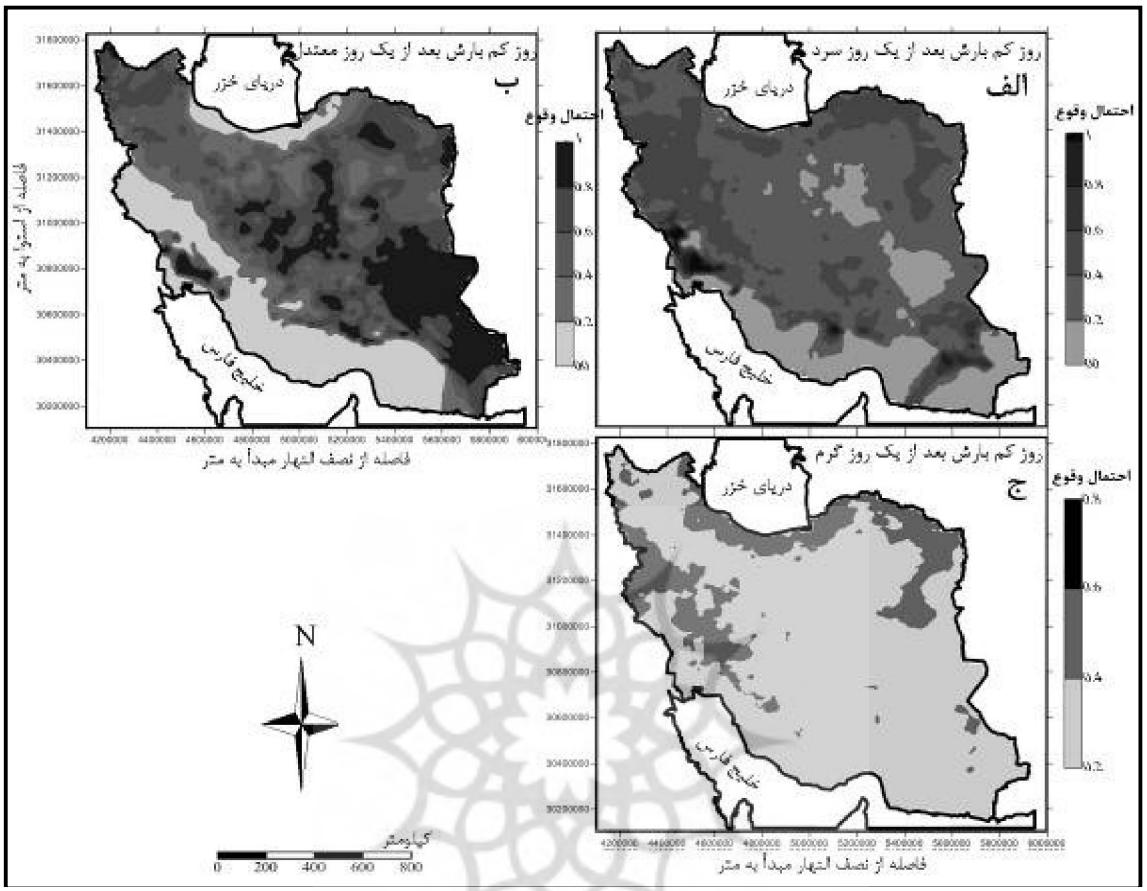
احتمال	۰-۰/۲	۰/۲-۰/۴	۰/۴-۰/۶	۰/۶-۰/۸	۰/۸-۱
روز بدون بارش بعد از روز سرد	۶	۲۹	۴۶	۳	۱۶
روز بدون بارش بعد از روز معتدل	۲۷	۳۷	۱۶	۳	۱۷
روز بدون بارش بعد از روز گرم	۲	۶۰	۳۰	۸	-

نگاره‌ی ۲ج توزیع مکانی روز بی‌بارش پس از روز گرم را نشان می‌دهد. دیده می‌شود، دراین حالت عمدتاً کشور را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود؛ بخش نخست شامل سواحل جنوبی و کویرهای داخلی است که حدود ۳۰ درصد از مساحت کشور را در برمی‌گیرد. در این بخش‌ها احتمال نبود بارش پس از روز گرم، ۰/۶-۰/۴ است. بخش دوم تمامی کشور (به جز بخش کوچکی از سواحل خزری و نوار بسیار باریک ساحلی دریاهای جنوب) را در بر می‌گیرد. این پهنه حدود ۶۰ درصد از کشور را پوشش می‌دهد. دراین پهنه احتمال رخداد خشکی پس از روز گرم ۰/۴-۰/۲ است.

روزهای کم‌بارش

چنان که قبلاً نیز گفته شد، روزهای کم‌بارش برای هر یاخته به روزهایی گفته می‌شود که میزان بارش آن‌ها برای آن

یاخته نسبت به میانگین توزیع فراوانی آن یاخته و در همان روز کم‌تر باشد. توزیع مکانی احتمال رخداد این حالت بارش در سه حالت دمایی را در نگاره‌ی ۳ و درصد پهنه‌های مرتبط را در جدول ۲ می‌توان دید:



نگاره‌ی۳) احتمال رخداد روزهای کم‌بارش پس از روزهای سرد، معتدل و گرم

جدول۲) درصد پهنه‌های کم‌بارش پس از روزهای سرد، معتدل و گرم برای احتمال‌های مختلف

احتمال	۰-۰/۲	۰/۲-۰/۴	۰/۴-۰/۶	۰/۶-۰/۸	۰/۸-۱
روز کم بارش بعد از روز سرد	۱۱	۴۷	۲۵	۱	۱۶
روز کم بارش بعد از روز معتدل	۱۲	۱۲	۲۳	۲۰	۳۳
روز کم بارش بعد از روز گرم	-	۷۹	۲۰	۱	-

نگاره‌ی ۳ الف توزیع مکانی احتمال روز کم‌بارش پس از روز سرد را نشان می‌دهد. حدود یازده درصد از مساحت کشور، شامل سواحل جنوبی، جنوب‌شرق کشور، بخش‌هایی از کویر لوت و کویر مرکزی با احتمال ۰-۰/۲ دیده می‌شود. در یک چهارم از مساحت کشور (شامل ارتفاعات زاگرس شمالی، البرز و شمال خراسان و نیز نواحی مرتفع شمال‌غرب کشور) با احتمال ۰/۴-۰/۶، این حالت رخ می‌دهد. شمال خوزستان و بخشی از جنوب فارس با مساحت حدود ۱۶ درصد از مساحت کشور، بیش‌ترین احتمال رخداد این حالت را تجربه می‌کنند. در بیش‌ترین مساحت کشور (۴۷ درصد از مساحت ایران)، پس از روز سرد، بارش کم با احتمال ۰/۲-۰/۴ رخ می‌دهد. سرانجام پهنه‌ی بسیار محدودی (۱ درصد از مساحت ایران) با احتمال ۰/۶-۰/۸ این حالت را تجربه می‌کنند.

با توجه به نگاره‌ی ۳ب درصد پهنه‌های کم‌بارش پس از روز معتدل در مقایسه با دیگر حالات کم‌بارش از پراکنش نسبتاً همسانی در کشور برخوردار است. بیش‌ترین سهم کشور (۳۳ درصد) برای این حالت مربوط به بالاترین احتمال (۱-۰/۸) است. این بخش به سان نواری باریک از شمال غرب تا جنوب شرق خوزستان، شرق و بخش‌هایی از جنوب شرق و نیز بخش‌هایی پراکنده از مرکز و نیز شمال‌شرق کشور را در بر می‌گیرد. بخش بزرگی از سواحل شمالی و جنوبی شامل ۲۴ درصد از مساحت ایران زمین با احتمال ۰/۴-۰ پس از روزهای معتدل با بارش کم مواجه می‌باشد. ۲۳ درصد از مساحت کشور با احتمال ۰/۶-۰/۴ پس از روز معتدل کم‌بارش است.

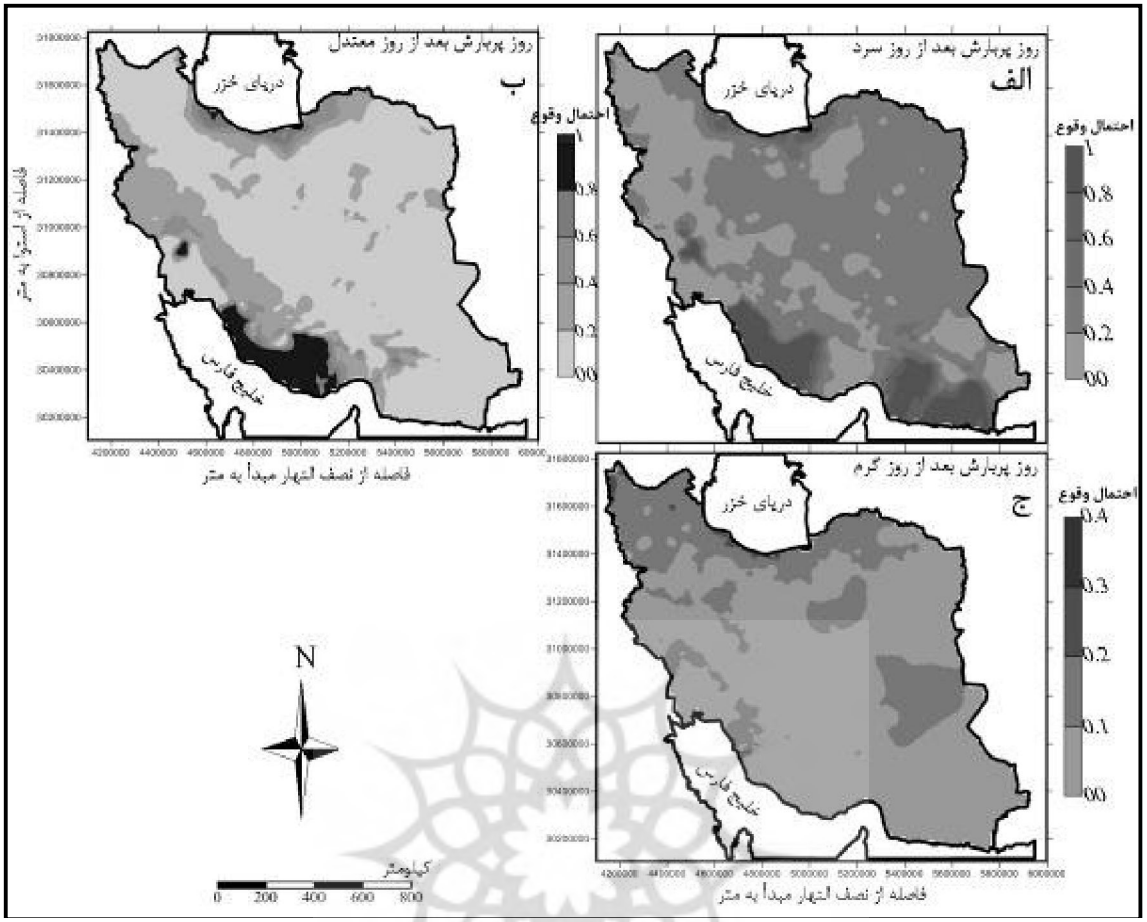
با توجه به نگاره‌ی ۳ ج حدود ۲۰ درصد از مساحت کشور شامل مرزهای غربی در کردستان و شمال کرمانشاه، زاگرس مرتفع، سواحل شمالی و بخش‌هایی از خراسان شمالی و رضوی با احتمال ۰/۶-۰/۴ روز کم‌بارش را پس از روز گرم تجربه کرده‌اند. بقیه‌ی پهنه شامل ۷۹ درصد از مساحت کشور با احتمال ۰/۴-۰/۲ روز کم‌بارش رخ می‌داده است.

روزهای پربارش

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

براساس نگاره‌ی ۴ الف در بخش‌های غربی از ناحیه‌ی شمال‌غرب ایران، زاگرس مرتفع و بخش‌هایی از زاگرس کم‌ارتفاع، خوزستان، بخش‌های پراکنده از ایران مرکزی، جنوب‌شرقی ایران و نیز جنوب رشته کوه‌های البرز، مجموعاً ۲۸ درصد از مساحت کشور، احتمال رخداد روز پربارش پس از روز سرد با کم‌ترین احتمال توأم است. بیش‌ترین پهنه‌ی تحت تأثیر این حالت (۵۲ درصد) با احتمال ۰/۴-۰/۲ در سواحل خزری از شرق ناحیه‌ی شمال غرب ایران تا شمال خراسان و سرتاسر خراسان بزرگ، بخش‌هایی از ایران مرکزی و شرقی را در بر می‌گیرد. در ۱۶ درصد از مساحت کشور که عمدتاً در سواحل خلیج فارس در استان بوشهر و سواحل دریای عمان از میناب تا جاسک را در بر می‌گیرد، احتمال روز پربارش پس از روز سرد، ۱-۰/۸ است.

روز پربارش پس از روز معتدل عمدتاً در سه پهنه –بازهٔ احتمالی دیده می‌شود. بخش غالب شامل ۶۱ درصد از مساحت کشور با احتمال ۰/۲-۰ سرتاسر شرق، مرکز، شمال‌غرب ایران و بخش بزرگی از خوزستان را در برمی‌گیرد. پهنه‌ی دوم با ۱۸ درصد از مساحت کشور، احتمال ۰/۴-۰/۲ را به خود اختصاص داده است. این سرزمین، کرانه‌های شمالی، سرتاسر زاگرس و نیز بخش‌هایی پراکنده در ایران را شامل می‌شود. پهنه‌ی سوم با بیش‌ترین احتمال (۱-۰/۸) حدود ۱۶ درصد از مساحت کشور را در بر می‌گیرد. این پهنه از بوشهر تا بندرعباس و نیز بخش‌هایی کوچک از کرانه‌های خلیج فارس در استان خوزستان و نیز بخش‌هایی از شمال این استان و پهنه‌ی کوچکی از سواحل شمالی را در بر می‌گیرد.



نگاره‌ی ۴) احتمال رخداد روزهای پربارش پس از روزهای سرد، معتدل و گرم

جدول۳) درصد پهنه‌های پربارش پس از روزهای سرد، معتدل و گرم برای احتمال‌های مختلف

احتمال	۰-۰/۲	۰/۲-۰/۴	۰/۴-۰/۶	۰/۶-۰/۸	۰/۸-۱
روز پربارش بعد از روز سرد	۲۸	۵۲	۳	۱	۱۶
روز پربارش بعد از روز معتدل	۶۱	۱۸	۴	۱	۱۶
روز پربارش بعد از روز گرم	۹۸	۲	–	–	–

احتمال رخداد روزهای پربارش پس از روز گرم در غالب مساحت ایران زمین (۹۸ درصد از مساحت ایران) با کم‌ترین احتمال (۰/۲ -۰) مواجه است. در این میان ۷۳ درصد از مساحت با احتمال ۰/۱-۰ و ۲۵ درصد از کشور با احتمال ۰/۲-۰/۱ این حالت را تجربه می‌کند. ۲ درصد از مساحت کشور با احتمال ۰/۴-۰/۲ روز پربارش را پس از روز گرم به خود می‌بینند. این نواحی در سواحل شمالی کشور و به صورت محدود مشاهده می‌شوند. در این میان ۰/۹۹ درصد از مساحت پهنه‌ی اخیر با احتمال ۰/۳-۰/۲ این حالت را تجربه می‌کند.

یافته‌ها

در روش درستنمایی بیشینه، احتمال یک پیشامد به عنوان حدِ فراوانی نسبی آن پیشامد تلقی می‌شود. برای مثال منظور از این که احتمال بارش باران در روزی معین ۰/۳ (۳۰ درصد) باشد، آن است که در شرایط جوی روز مفروض از هر ۱۰۰ بار ۳۰ بار بارندگی رخ داده است. با این تعبیر از احتمال، می‌توان شرایط آب و هوایی (غالب) پیشامدها را بیان نمود. با استمداد از این دیدگاه و با استفاده از شگرد احتمال شرطی و نیز به کارگیری دما به عنوان متغیر توضیحی، چند ویژگی بارشی ایران به دست آمد. گرچه این ویژگی‌ها از راه بررسی دینامیک جو نیز قابل دستیابی است اما به کارگیری کم‌ترین مشاهدات و متغیرهای توضیحی، توانایی شگردهای آماری –احتمالاتی در ارزیابی، برآورد و پیش‌بینی بارش کشف و مورد تأکید قرار گرفت. برخی از یافته‌های این پژوهش به شرح زیر است:

احتمال رخداد توأم عناصر آب و هوایی نمایانگر وجود رابطه، میان این عناصر است. براین اساس معلوم شد که احتمال توأم رخداد حالات دما و حالات بارش در سرزمین ایران علی رغم پایین بودن همبستگی، تابع الگوی زمانی – مکانی است. بنابراین فهم دقیق‌تر و متقن‌تر این روابط نیاز به تفکیک زمانی مکانی بیش‌تر از این عناصر دارد. به عنوان مثال از آن جا که رویدادهای بارشی ایران عمدتاً ناشی از جبهه‌های هوایی است و به دلیل سرعت گذر این عوامل و نیز محدودیت پهنه‌ی تحت تأثیر آن‌ها، ضروری است مطالعات در پهنه‌های خرد و با تفکیک زمانی کوچک انجام شود. بدین دلیل با استمداد از مشاهدات روزانه‌ی دما- بارش در مطالعه‌ی حاضر، رابطه‌ی نیرومندی بین دو عنصر یاد شده در همه جای ایران زمین مشاهده نشد. در برخی مکان‌ها این روابط به طور نسبی از قوّت برخوردارند. به عنوان مثال در سواحل جنوبی ایران به ویژه سواحل دریای عمان و نیز سواحل خلیج فارس در بوشهر روزهای پربارش پس از روز سرد محتمل‌تر است. در حالی که در شمال‌غرب کشور، شمال تنگه‌ی هرمز، سواحل خوزستان و نیز ناحیه‌ی سیستان روزهای بی‌بارش پس از روز سرد محتمل‌تر می‌باشد. روزهای بی‌بارش پس از یک روز معتدل در جنوب و غرب خوزستان و نیز در نواری نسبتاً پهناور از غرب تنگه‌ی هرمز تا جنوب بلوچستان پس از روزهای معتدل در بیش از ۸۰ درصد مواقع، محتمل است. در همین شرایط دمایی، شمال و شرق خوزستان، شرق کشور (شامل سیستان، خراسان جنوبی و بخش‌های پراکنده‌ای از کشور) پس از روزهای معتدل بیش از ۸۰ درصد اوقات کم‌بارش بوده است. در بیش از ۸۰ درصد موارد پس از رخداد روزهای معتدل،کرانه‌های خلیج فارس در استان بوشهر و حتی جنوب‌شرقی فارس پربارش بوده است. همچنین روزهای گرم عمدتاً با روزهای بی‌بارش و یا کم‌بارش دنبال می‌شود.

منابع

۱- عساکره حسین .(۱۳۹۰). مبانی اقلیم شناسی آماری، زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان.

۲- علیجانی بهلول .(۱۳۷۴). آب و هوای ایران، دانشگاه پیام نور.

۳- مسعودیان، سید. ابوالفضل. و کاویانی، محمد رضا .(۱۳۸۷). اقلیم شناسی ایران، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.

۴- مسعودیان، سید ابوالفضل .(۱۳۹۰). داده‌های شبکه‌ای دما و بارش روزانه از ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۰/۱۱ ۱۳۸۳ با تفکیک زمانی روزانه و تفکیک مکانی ۱۵ × ۱۵ کیلومتر. اخذ شده از بایگانی شخصی ایشان

5- Dirmeyer P.A., Schlosser C.A., and K.L. Brubaker. 2009. Precipitation, Recycling, and Land Memory: An Integrated Analysis. *J. Hydrometeor*, 10: 278–288.
6- Ferro C. A.T. 2007. A Probability Model for Verifying Deterministic Forecasts of Extreme Events. Weather and Forecasting, 22:1089 – 1100
7- Grimmett G. and Strirzaker D.2001. Probability and Random Processes. Third Edition. Oxford University Press. UK.
8- Kay. S.M. 2006. Intuitive Probability and Random Processes Using MATLAB. Springer. U.S.A.
9- Khilyuk .L .R , Chilingar G. V. and Rieke H. H .2005.Probability in Petroleum and Environmental Engineering. The Gulf Publishing Company Houston, Texas. U .S. A.
10- Kirtman, B.P. and Schopf P.S. 1998.Decadal Variability in ENSO Predictability and Prediction. *J. Climate*. 11:2804–2822.
11- Koster, R.D., Suarez M.J., and Heiser M. 2000. Variance and Predictability of Precipitation at Seasonal-to-Interannual Timescales. *J. Hydrometeor*. 1:26–46.
12- Koster R. D., Dirmeyer P. A., and Guo Z. C. 2004. Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation. *Science*, 305:1138-1140.
13- Lund I.A. and Grantham D.D. 1980. Estimating the join probability of a weather event at more than two locations. Journal of Applied Meteorology.19: 1091-1100
14- Mukhopadhyay.N. 2004. Probability and Statistical Inference. Marcel Dekker INC. NEW YORK.U.S.A
15- Ramirez-Beltran .N. D, Lau .W.K. M, Winter.A, Castro .J.M. and Ramirez E.2007. Empirical Probability Models to Predict Precipitation Levels over Puerto Rico Stations, Monthly Weathr Review. 135:877-890
16- Simon J. M., Jacqueline.S.G., Goddard L., Nicholas E.G.,and Balakanapathy G. 2007. Conditional Exceedance Probabilities**.** Monthly Weather Review. 135:363-372
17- Soong T.T. 2004. Fundamentals of Probability and Statistics for Engineers. John Wiley & Sons Ltd, England.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی