دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۳
پاییز ۱۳۹۷، صفحات ۸۶-۷۱

زهرا ماه آورپور[۱]

برآورد دماهای فرا هنجار و دورهٔ بازگشت آن در ایران با مدل زنجیرهٔ مارکف

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰٤/۱٦ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰٦/۲٤

چکیده

یکی از عوامل مهم در تغییر شرایط محیط زندگی موجودات زنده رخداد دماهای بالا و به‌ویژه امواج گرمایی است که زیست‌بوم‌ها را تحت تأثیر خود قرار داده و در صورت تداوم موجب به‌هم خوردن تعادل زیستی آن‌ها می‌شود. هدف این پژوهش پیش‌بینی دماهای فراهنجار و احتمال وقوع و عدم وقوع و دوره بازگشت آن‌ها با مدل زنجیره مارکف است. لازم به اشاره است در این پژوهش منظور از دمای فراهنجار (بیش هنجار) دماهایی است که بالاتر از محدوده نرمال رخ داده‌اند. جهت دست‌یابی به این هدف آمار روزانه دمای حداکثر ۱٤۳۷ ایستگاه اقلیمی و همدید به‌کار رفته است. طول دوره آماری از ۱۹٦۲/۱/۱ تا ۲۰۰٤/۱۲/۳۱ میلادی می‌باشد. این داده‌ها با روش میانیابی کریجینگ به داده‌های شبکه‌ای تبدیل شده و ماتریسی به ابعاد ۷۱۸۷×۱۵٦۹۵ استاندارد شد. به دلیل حجم زیاد داده‌ها کلیه محاسبات در این پژوهش با نوشتن برنامه‌های متعددی در محیط Matlab امکان‌پذیر شد. برای استخراج دماهای فراهنجار دماهایی که نمره استاندارد ۲+ داشتند به عنوان دمای بالا (دماهای فراهنجار) تعیین شدند. ابتدا احتمالات انتقال شرطی مشخص شد آنگاه با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف مرتبه‌ی اول با دو حالت دمای بالا و نرمال،

۱- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه اصفهان. E-mail: Z.mahavar@gmail.com

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ماتریس فراوانی تشکیل و سپس به روش حداکثر درست‌نمایی ماتریس احتمال انتقال محاسبه شد. به منظور انجام عمل پیش‌بینی ماتریس احتمال مارکف با به توان رساندن مکرر به حالت ایستا (پایا) رسید. به این ترتیب احتمال وقوع دماهای بالا در طولانی مدت پیش‌بینی شد. سپس با در دست داشتن عناصر p (احتمال وقوع) و q (احتمال عدم وقوع) از ماتریس پایا شده دوره‌های بازگشت دماهای یاد شده از ۲ تا ٦ روز برای تمام ماه‌ها و فصول و سالانه محاسبه و نقشه‌های پیش‌بینی و دوره بازگشت ۲ روز کشیده شد. نتایج نشان داد که احتمال وقوع دماهای فراهنجار با تداوم ۱ و ۲ روز بیش‌تر و دماهای فراهنجارِ پرتداوم احتمال وقوع بسیار کمی دارند. همچنین در طولانی‌مدت احتمال وقوع یک دمای بالا ٤ /۱ درصد و احتمال عدم وقوع آن ٦/ ۹۸ درصد می‌باشد. بدین ترتیب دوره‌ی بازگشت دمای فراهنجار روزانه حدود ۷۲ روز و دوره بازگشت روز نرمال حدود ۱ روز برآورد شد. بیش‌ترین احتمال وقوع در ژانویه (دی) حدود ۰/۰۱۹ درصد با دوره بازگشت ۵۱ روز و کم‌ترین احتمال وقوع برای ماه اکتبر (مهر) حدود ۰/۰۱ درصد با دوره بازگشت ۹۲ روز پیش‌بینی شد.

کلید واژه‌ها: دمای فراهنجار، احتمال وقوع، دوره بازگشت، ماتریس احتمال انتقال، زنجیره مارکف.

مقدمه

موج‌های گرمایی مهم‌ترین بلایای جوی بوده و بررسی میزان مرگ‌ومیر سالانه ناشی از مخاطرات اقلیمی نشان می‌دهد که امواج گرمایی باعث بیش‌ترین میزان مرگ‌ومیر نسبت به دیگر رخدادهای اقلیمی می‌شوند (NOAA, 2007: 142). کاهش پیامدهای ناشی از امواج گرمایی آینده در گرو شناسایی سازوکار امواج گرمایی، سامانه‌های جوی ایجاد کننده آن‌ها، پیش‌بینی و کشف راه‌هایی برای کاهش تأثیرات آزاردهندهٔ امواج گرمایی بر روی سلامتی عمومی و همچنین شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در ارتباط با امواج گرمایی است (Kovats, 2006: 592-599). تعاریف متعددی از موج گرما وسیله محققان و پژوهشگران و سازمان‌های هواشناسی مختلف بیان شده است که می‌توان آن‌ها را در مناطق مختلف دنیا به‌کار برد. با توجه به این تعاریف و معیارهای تعیین موج گرما به نظر می‌رسد که در هر منطقه جغرافیایی بر اساس ویژگی‌های محیطی و اقلیمی آن، می‌توان آستانه دمایی معینی برای تعریف موج گرما بیان کرد. به خاطر تنوع در ساختار توپوگرافیک ایران مانند وجود پستی و بلندی‌های متنوع و همچنین گسترش ۱۵ درجهٔ عرض جغرافیایی، دوری و نزدیکی به دریا در ایستگاه‌های هواشناسی، در یک زمان واحد، دماهای متفاوتی ثبت می‌شود که شناسایی امواج گرمایی را با مشکل مواجه می‌سازد؛ بنابراین امواج گرما در ایران ممکن است فراگیر نبوده و در نواحی مختلف ویژگی‌های متفاوتی داشته باشند (Ismail Nejad et al, 2013: 39-54).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در این پژوهش دماهای فراهنجار براساس انحراف از میانگین روزانه دما شناسایی شدند. آن‌گاه با مدل زنجیره مارکف این دماها پیش‌بینی شدند. مدل زنجیره مارکف کاربرد وسیعی در زمینه‌های مختلف دارد. از آن جمله: Cazacioc & Cipu (2005) در رومانی احتمالات انتقال برای سری زمانی بارش روزانه با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف را ارزیابی کردند. Paulo & Pereira (2007) به کمک زنجیره‌ی مارکف خشکسالی ایستگاه‌های واقع در آلن تیجو و پرتقال جنوبی را پیش‌بینی کرده و سپس با استفاده از شاخص SPI بر اساس درجه‌ی سختی به کلاس‌بندی خشکسالی‌ها پرداخته و نتایج این کار را در مدیریت بحران خشکسالی‌ها مورد استفاده قرار داده‌اند.

Marze (2001) با کمک زنجیره‌ی مارکف به تحلیل و پیش‌بینی آب‌وهوا در استان کردستان پرداخت. Kulkari & et al (2002) به کمک زنجیره‌ی مارکف دوره‌های تداوم رعدوبرق و طوفان‌های تندری را در منطقه‌ی پونا در هندوستان پیش‌بینی کردند. Kerkides et al (2002) از زنجیره‌ی مارکف برای شبیه‌سازی دوره‌های تر و خشک بحرانی در کنیا استفاده کردند. Giuseppe et al(2005) به کمک زنجیره‌ی مارکف به تحلیل آماری دوره‌های تر و خشک چهار شهر ایتالیا پرداخته و بین توالی دوره‌های خشک و تر طولانی مدت و تغییرات اقلیم ارتباط برقرار کرده‌اند.

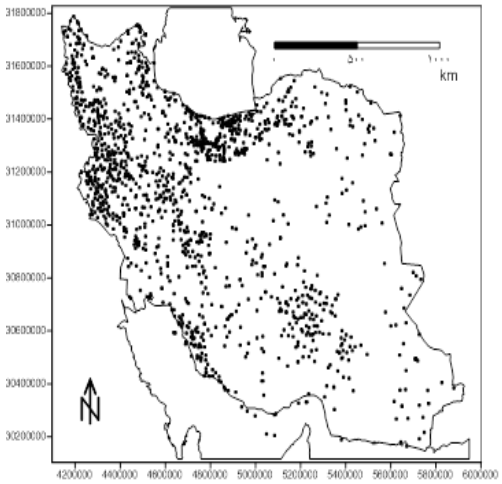
Lennartsson et al (2008) بارش را با استفاده از مرتبه‌های چندگانه زنجیره‌ی مارکف در سوئد مدل‌سازی کردند. هدف اصلی در این پژوهش بررسی سری زمانی دماهای فراهنجار ایران و پیش‌بینی آن در طولانی مدت با استفاده از یک روش آماری موسوم به زنجیره مارکف است.

مواد و روش‌ها

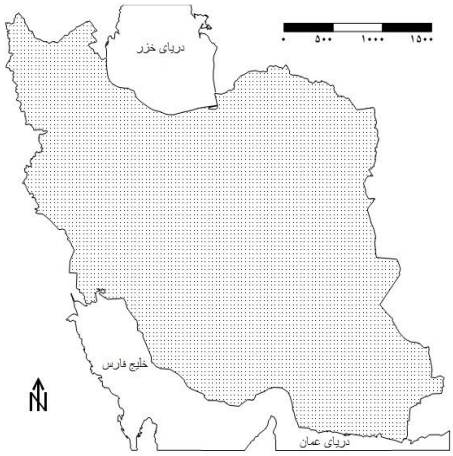
اقلیم در مقیاس‌های زمانی کوتاه نوسان می‌کند و در مقیاس‌های زمانی بلند تغییر می‌پذیرد. تغییرات اقلیمی با الگوهای متفاوتی رخ می‌دهند. این تغییرات می‌توانند سه الگوی اصلی روندی، دوره‌ای و یا تصادفی داشته باشند. بررسی این تغییرات برای شناخت وضع آب وهوای آینده هر ناحیه ارزشمند است. تغییر دو عنصر دما و بارش وضع عمومی آب‌وهوای هر ناحیه را شکل می‌دهد (Massoudian, 2011). به همین دلیل در این پژوهش سعی شده است با مدل زنجیره مارکف احتمال وقوع دماهای فراهنجار فراگیر ایران در طولانی‌مدت پیش‌بینی شود. به منظور شناسایی این دماها آمار روزانه دمای حداکثر ۱۴۳۷ ایستگاه اقلیمی و همدید به‌کار رفته است (شکل ۱). چون برای ساختن زنجیره نیاز به آمار طولانی مدت (حداقل ۲۰ سال) می‌باشد طول دوره آماری از ۱۹۶۲/۱/۱ (۱۳۴۰/۱۰/۱۱) تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ (۱۳۸۳/۱۰/۱۱) در نظر گرفته شده است. این داده‌ها با روش میان‌یابی کریجینگ در پایگاه داده اسفزاری به داده‌های شبکه‌ای تبدیل شده (شکل ۲) و ماتریسی به ابعاد ۷۱۸۷×۱۵۶۹۵ ساخته است. داده‌های روزانه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

بروی سطرها و یاخته‌های مکانی بروی ستون‌ها قرار دارند. تفکیک مکانی این داده‌ها با ابعاد ۱۵×۱۵ کیلومتر می‌باشد. به منظور سالم ماندن محاسبات آخرین روز سال در سال‌های کبیسه حذف شد. از آنجا که برای ساختن زنجیره به آمار طولانی مدت و پیوسته نیاز است و تنها تا تاریخ فوق داده‌های آماری برای تمام ایستگاه‌ها در دسترس بوده و از این تاریخ به بعد برای تعداد زیادی از این ایستگاه‌ها اطلاعات موجود نبوده، لذا نتوانستیم زنجیره را تا سال‌های اخیر گسترش دهیم. چون تاریخ انتهای آمار ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ می‌باشد و سال شمسی (۱۳۸۳) اطلاعات کامل نداشت محاسبات با سال‌های میلادی انجام شد تا بتوان از اطلاعات بیش‌تری استفاده کرد.



شکل ۱: پراکنش ۱۴۳۷ ایستگاه در ایران



شکل ۲: تفکیک مکانی پایگاه اسفزاری با یاخته‌های ۱۵×۱۵ KM

پس از تعیین دماهای حداکثر انحراف معیار داده‌ها محاسبه و سپس ماتریس داده‌ها استاندارد شد. آنگاه دماهای فراهنجار بر اساس انحراف از میانگین روزانه دما شناسایی شدند.

- ماتریس فراوانی و ماتریس گذار (احتمال انتقال)

درک مبانی ماتریس احتمال‌گذار در فهم فرآیندهای مارکفی ضروری است. برای تشکیل ماتریس احتمال‌گذار ابتدا باید ماتریس فراوانی را تشکیل داد. در ماتریس فراوانی هر یک از درایه‌ها، تعداد وقوع حالت مورد نظر را نشان می‌دهند. در اینجا به منظور تشکیل زنجیره ابتدا تعداد انتقال شرطی مشخص شد آنگاه ماتریس فراوانی با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف مرتبه‌ی اول با دو حالت دمای بالا و نرمال، (۲×۲) تشکیل شد (جدول ۱).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۱- فراوانی انتقال شرطی

	دمای بالا به دمای بالا	دمای بالا به نرمال و بالعکس	دمای نرمال به نرمال
ژانویه	۹	۲۰	۱۳۰۳
فوریه	۲۷	۱۰	۱۱٦٦
مارس	۱۰	۲٤	۱۲۹۸
آوریل	۵	۱٤	۱۲۷۰
می	۳	۱٤	۱۳۱۵
ژوئن	۱۱	۲۰	۱۲۵۸
ژوئیه	۲	۳۰	۱۳۰۰
اوت	۸	۲٦	۱۲۹۸
سپتامبر	۵	۱۸	۱۲٦٦
اکتبر	۱۰	۱۸	۱۳۰٤
نوامبر	۱٤	۱٦	۱۲۵۹
دسامبر	۲	۱۰	۱۳۲۰
سالانه	۱۰۷	۲۱۸	۱۵۳٦۹

رابطه (۱)

$$N=\begin{matrix} & W & d \\ w & n_{11} & n_{10} \\ d & n_{01} & n_{00} \end{matrix}$$

$$P=\begin{matrix} & W & d \\ w & p_{11} & p_{10} \\ d & p_{01} & p_{00} \end{matrix}$$

در ماتریس N فراوانی تغییر وضعیت از روز دمای بالا به روز دمای بالا با n_{11}، تغییر از روز دمای بالا به روز نرمال با n_{10}، گذر از نرمال به روز دمای بالا با n_{01}، و از روز نرمال به روز نرمال با n_{00} نشان داده شده است. P ماتریس احتمال انتقال است. روش‌های تشکیل ماتریس احتمال انتقال به نظر پژوهش‌گر بستگی دارد و شامل: روش بیزی-برآورد بیزی تجربی-کم‌ترین توان‌های دوم خطا-حداکثر (بیشینه) درست‌نمایی می‌باشد (Asakere, 2008: 5). در این پژوهش از روش حداکثر درست‌نمایی برای تشکیل ماتریس احتمال انتقال استفاده شده است. ماتریس احتمال انتقال به روش حداکثر درست‌نمایی از ماتریس فراوانی به صورت زیر به‌دست می‌آید (Zarei & Shahkar, 2001: 135).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

رابطهٔ (۲)

$$P=\begin{matrix} W \\ d \end{matrix}\begin{bmatrix} \frac{n_{11}}{1+} & \frac{n_{10}}{1+} \\ \frac{n_{01}}{0+} & \frac{n_{00}}{0+} \end{bmatrix}$$

W= روز همراه با دمای بالا d= روز بدون دمای بالا n_{11} = تعداد روز پس از دمای بالا، دمای بالا n_{10}= تعداد روز پس از دمای بالا، نرمال n_{01}= تعداد روز پس از نرمال دمای بالا n_{00}= تعداد روز پس از نرمال، نرمال

$0+=n_{01}+n_{00}$ $1+=n_{11}+n_{10}$

براساس رابطهٔ فوق ماتریس احتمال انتقال مارکف به صورت زیر به‌دست آمد (جدول ۲). در این جدول احتمال انتقال مارکفی، به صورت یک ماتریس ۲×۲ است که مجموع درایه‌های هر سطر آن براساس درصد ۱۰۰ و براساس احتمال ۱ می‌باشد. در این جدول p_{11} احتمال وقوع یک روز همراه با دمای بالا پس از یک روز همراه با دمای بالا، p_{10} احتمال یک روز نرمال پس از دمای بالا، p_{01} احتمال یک دمای بالا پس از یک روز نرمال، p_{00} احتمال روز نرمال پس از یک روز نرمال.

جدول ۲- میانگین احتمال انتقال مارکفی به درصد

	P_{11}	P_{10}	P_{01}	P_{00}
ژانویه	٪۵۱	٪۴۹	٪۰/۸	٪۹۹/۲
فوریه	٪۳۸/۶	٪۶۱/۴	٪۰/۹	٪۹۹/۱
مارس	٪۴۲/۷	٪۵۷/۳	٪۰/۹۵	٪۹۹/۰۵
آوریل	٪۳۸/۸	٪۶۱/۲	٪۰/۸	٪۹۹/۲
می	٪۳۹/۲	٪۶۰/۸	٪۰/۸	٪۹۹/۲
ژوئن	٪۳۵/۸	٪۶۴/۲	٪۰/۹	٪۹۹/۱
ژوئیه	٪۳۴/۳	٪۶۵/۷	٪۰/۹	٪۹۹/۱
اوت	٪۳۹/۷	٪۶۰/۴	٪۰/۹	٪۹۹/۱
سپتامبر	٪۳۴/۲	٪۶۵/۸	٪۰/۷	٪۹۹/۳
اکتبر	٪۲۹/۵	٪۷۰/۵	٪۰/۵	٪۹۹/۵
نوامبر	٪۳۱/۳	٪۶۸/۷	٪۰/۷	٪۹۹/۳
دسامبر	٪۴۴/۳	٪۵۵/۷	٪۰/۷	٪۹۹/۳
سالانه	٪۴۴	٪۵۶	٪۰/۸	٪۹۹/۲

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

همان‌گونه که در (جدول ۲) مشاهده می‌شود تنها در ماه ژانویه (دی) احتمال تداوم دمای بالا بیش‌تر از سایر ماه‌ها است. ۵۱٪ در مقابل ٤۹٪، بدین معنی که در صورت وقوع یک دمای بالا احتمال تداوم آن بیش‌تر است. در بقیه ماه‌ها احتمال عدم تداوم بیش‌تر است. حداکثر آن مربوط به ماه اکتبر (مهر) است که در صورت وقوع یک دمای بالا ۲۹/۵٪ احتمال تداوم و ۷۰/۵٪ احتمال عدم تداوم وجود دارد و احتمال وقوع یک روز همراه با دمای بالا پس از یک روز نرمال نیز از بقیه ماه‌ها کم‌تر است. در یک نگاه کلی به (جدول ۲) روشن می‌شود که در نیمه گرم سال احتمال وقوع و تداوم دمای بالا نسبت به میانگین سالانه کم‌تر و در نیمه سرد سال بیش‌تر است.

– برآورد احتمال وقوع دمای فراهنجار به روش مارکف

ضرب ماتریسی، روش ساده‌ای برای پیش‌بینی حالت یک سیستم مارکفی برای دوره‌های آتی است. با داشتن حالت اولیه، ضرب ماتریسی را می‌توان برای پیش‌بینی در زمان n به‌کار برد. به طور کلی همچنان که n بزرگ می‌شود، یعنی با افزایش سال‌های پیش‌بینی، مقادیر بردار حالت به تثبیت شدن (حالت پایدار) تمایل پیدا می‌کند. چنین شرایطی ماتریس جدیدی با عنوان ماتریس معادل خواهد ساخت، به‌طوری که عناصر هر ستون در ماتریس معادل، بیانگر احتمال معادل قرار گرفتن در آن وضعیت پس از مدت زمان طولانی است (Momene, 1994: 153-154). در این پژوهش ماتریس پس از این‌که به توان ۱۰ رسید پایا شد با پایا (ایستا) شدن ماتریس امکان پیش‌بینی و محاسبهٔ دوره‌های بازگشت میسر شد. نتایج در (جدول ۳ و ٤) آمده است. دوره‌ی بازگشت متوسط تعداد روزهایی است که بین وقوع دو حادثه‌ی مشابه وجود دارد و به شکل $T_j=\frac{1}{pij}$ بیان می‌شود. دوره‌ی بازگشت (T_{ij}) در واقع عکس احتمال است. رابطه‌ی ساده‌ی امید ریاضی دوره بازگشت و احتمال پایا را می‌توان به شکل زیر نشان داد (Higgins & Mcnalati, 2000: 166).

$$E(T_j)=\frac{1}{\pi j}$$ رابطه (۳)

در این رابطه $\pi=(\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_s)$ بردار احتمال حالت پایای زنجیره و T_j دوره‌ی بازگشت به حالت J را نشان می‌دهد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۳- حالت ایستا (پایا) پیش‌بینی رخداد دماهای بالا ماهانه

دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
احتمال وقوع (پایا)	۰/۰۱۹۵	۰/۰۱۶۶	۰/۰۱۷	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۲۹	۰/۰۱۴۸	۰/۰۱۴۹	۰/۰۱۶۴	۰/۰۱۳۳	۰/۰۱۰۸	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۶۱
احتمال عدم وقوع (پایا)	۰/۹۸۰۵	۰/۹۸۳۴	۰/۹۸۳	۰/۹۸۶۴	۰/۹۸۷۱	۰/۹۸۵۲	۰/۹۸۵۱	۰/۹۸۳۶	۰/۹۸۶۷	۰/۹۸۹۲	۰/۹۸۸۲	۰/۹۸۳۹
دوره بازگشت	۵۱/۲	۶۰/۳	۵۸/۹	۷۳/۴	۷۷/۴	۶۷/۴	۶۷	۶۱	۷۵/۱	۹۲/۳	۸۴/۵	۶۲/۲

جدول ٤- **حالت ایستا (پایا) برآورد رخداد دمای بالا فصلی و سالانه**

دوره	بهار	تابستان	پائیز	زمستان	سالانه
احتمال وقوع (پایا)	۰/۰۱۳٤	۰/۰۱٤۳	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱٦۸	۰/۰۱۳۹
احتمال عدم وقوع (پایا)	۰/۹۸٦٦	۰/۹۸۵۷	۰/۹۸۸۲	۰/۹۸۳۲	۰/۹۸٦۱
دوره بازگشت	۷٤/٦	٦۹/۹	۸۵/۱	۵۹/٤	۷۲/۲

احتمالات ایستا در (جدول ۳) حداکثر احتمال وقوع دمای بالا را در ماه ژانویه ۱/۹۵٪ با دوره بازگشت ۵۱/۲ روز و حداقل آن را برای ماه اکتبر ۱/۰۸٪ با دوره بازگشت ۹۲/۳ روز در طولانی مدت پیش‌بینی می‌کند. احتمالات فصلی (جدول ٤) نیز کم‌ترین احتمال وقوع دمای بالا را برای فصل پاییز ۱/۱۸٪ با دوره بازگشت ۸۵/۱ روز و بیش‌ترین احتمال وقوع را برای فصل زمستان ۱/٦۸٪ با دوره بازگشت ۵۹/٤ روز تعیین می‌کند. میانگین سالانه برای کل دوره آماری نیز احتمال وقوع دمای بالا را ۱/۳۹٪، عدم وقوع را ۹۸/٦۱٪ و دوره بازگشت را ۷۲/۲ روز پیش‌بینی می‌کند. نقشه‌های فصلی و میانگین سالانه در (شکل‌های ۳ تا ۷) نشان داده شده است.

- دوره‌ی برگشت دماهای فراهنجار با تداوم n روزه (۲ تا ٦ روز)

برآورد دوره‌ی برگشت دماهای فراهنجار n روزه از توانایی‌های دیگر مدل زنجیره‌ی مارکف است. منظور از تداوم دمای بالا، تعداد روزهای متوالی است که دمای بالا در آن رخ داده باشد. مثلاً تداوم دو روزه‌ی دمای بالا، به معنی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

وقوع دمای بالا در دو روز متوالی است. ولی قبل از روز اول و بعد از روز دوم دمای بالا وجود نداشته باشد. دوره‌ی برگشت براساس رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید (Berger & Goossens, 1983: 33).

رابطه (٤)

$$T_m = \frac{1}{p^{m-1}(1-p)}$$

در این رابطه p احتمال (پایای) دمای بالا در ماه یا فصل مورد نظر (سطر دوم از جدول ۳ و ٤)، m دوره دمای بالای مورد نظر طی m روز، Tm دوره‌ی بازگشت دمای بالا m روزه است. با قرار دادن مقادیر ۲ تا ٦ به ازای m، طول دوره‌ی بازگشت دمای بالا با تداوم‌های ۲ تا ٦ روز برای هر ماه، فصل و سالانه محاسبه شد نتایج در (جدول ۵ و ٦) آمده است. نقشه‌های فصلی و میانگین سالانه در شکل‌های (۸ تا ۱۲) نشان داده شده است. جداول (۵ و ٦) نشان می‌دهند دوره بازگشت دمای بالا در دوره سرد سال کوتاه‌تر به عبارت دیگر احتمال وقوع بیش‌تری دارند. در فصل زمستان ماه مارس (اسفند) کوتاه‌ترین دوره بازگشت دمای بالا دو روزه، ٦۹/٤ روز را داراست. ماه اکتبر (مهر) طولانی‌ترین دوره بازگشت دمای بالا دو روزه، برابر با ۲۲٤/٤ روز را به خود اختصاص داده است. جداول (۳ و ٤) دوره بازگشت دماهای بالا با تداوم ۱ روز و جداول (۵ و ٦) دوره بازگشت دماهای بالا ۲ تا ٦ روز را نشان می‌دهند. همان‌گونه که می‌بینیم محاسبات نشان می‌دهد احتمال وقوع یا دوره بازگشت دماهای بالا ۱ و ۲ روز در طولانی‌مدت محتمل‌تر است. در حالی که دماهای بالای پر تداوم‌تر احتمال ضعیف‌تری برای وقوع دارند.

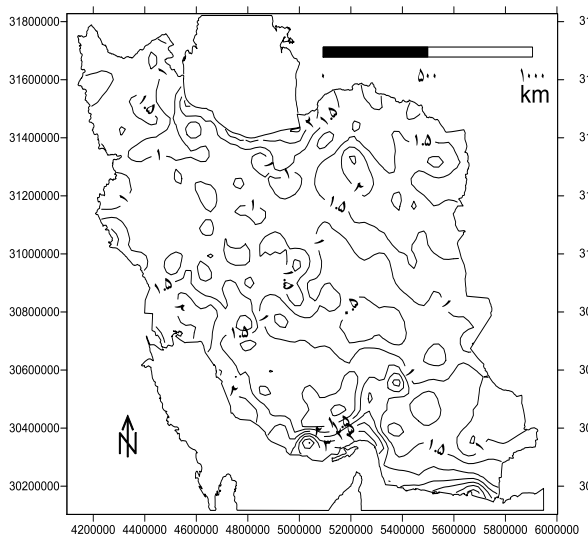
جدول ۵- دوره بازگشت دماهای فراهنجار با تداوم n روزه (۲ تا ٦ روز) ماهانه

	۲	۳	٤	۵	٦
ژانویه	۷۲/٦	۹۰۵۵/۳	۲٤۵۷۳×۱۰^۲	۱۲۸۹٦×۱۰^۵	۱۰۲۲×۱۰^۹
فوریه	۸۹	۵۷۱۹۳×۱۰^۲	۵۰٤۱×۱۰^٦	۵۰٤۱×۱۰^٦	۵۵۵۷۸×۱۰^۸
مارس	٦۹/٤	۵٦٦۱/٤	۵۸۹٦٦۰	۸۷۸۱۹×۱۰^۳	۱۹۹۲٦×۱۰^٦
آوریل	۱۰٦/۱	۲۲۳۳۲	۱۱٤۲۱×۱۰^۳	۹۹۸۳٦×۱۰^۵	۱۰۸۸۲×۱۰^۹
می	۹۸/٤	۱۳۹۷۳	٤٤٤۱۸×۱۰^۲	۳٤۳۲٦×۱۰^۵	۳۸۷٦٦×۱۰^۸
ژوئن	۱۱۱	۲۹۷۰٤	۲۰۳۸۷×۱۰^۳	۲۱۳۲۷×۱۰^٦	۲۵٤۳۲×۱۰^۹
ژوئیه	۱۰۳/٦	۲٤۲٦۵	۱٦۲٦۳×۱۰^۳	۱۷۸۲۸×۱۰^٦	۲۲۳۱۵×۱۰^۹
اوت	۱۰۲/۸	۲۸۸۸۵	۲۲۵۹۲×۱۰^۳	۲۵۷۸٤×۱۰^٦	۳۲۵۲۲×۱۰^۹
سپتامبر	۱٤۵/٤	٤۷۷٤۳	۳٤۰۹×۱۰^٤	۳۵۵۸۲×۱۰^٦	٤۲۳۱٦×۱۰^۹
اکتبر	۲۲٤/٤	۱۰۸٤۸۰	۹۱۹۱۹×۱۰^۳	۱۰۲۱×۱۰^۸	۱۲۲٦×۱۰^۱۱
نوامبر	۱٤٦	۳۹۵٤۵	۲۱۵۰۱×۱۰^۳	۱۸۹٤٦×۱۰^٦	۲۰۸٦۷×۱۰^۹
دسامبر	۹۹/۵	۲۲۹۰۵	۱۵۱٤٦×۱۰^۳	۱٦۳۷۷×۱۰^٦	۲۰۳۲۷×۱۰^۹

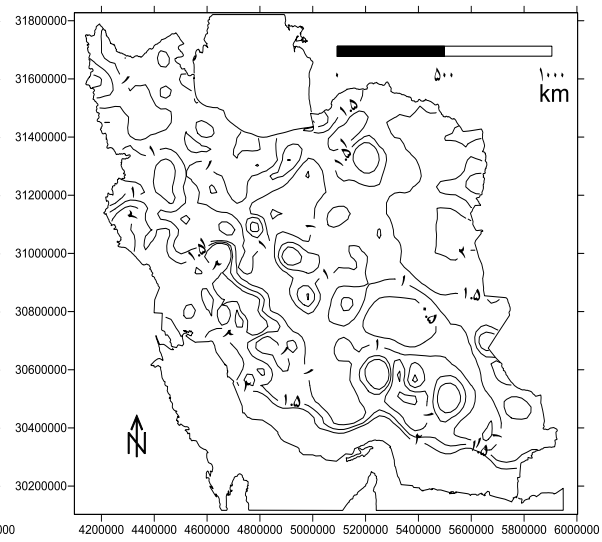
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ٦- دوره بازگشت دمای فراهنجار با تداوم n روزه (۲ تا ٦ روز) فصلی سالانه

دوره	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
۲	۹۰/۹	۱۰٤/۳	۱۲۲	٦۸/٦	۸۲/٦
۳	۱۲۸۰۸	۳۱۲٤۲	٥۰٦٥۷	٥۳۹٤/۲	۸۱۱٤/۳
٤	۱۰٤۲۳×۱۰^{۳}	٥۱٤۱۳×۱۰^{۳}	۱۲٥٦٥×۱۰^{٤}	٥۱۳۷٥۰	۱۱۸۸۲×۱۰^{۲}
٥	۳۳٤۱۱×۱۰^{٦}	۱٦۰۷۳×۱۰^{۷}	٤٦۲۰۸×۱۰^{۷}	٦۲۳۲۷×۱۰^{۳}	۳۳۹٦٦×۱۰^{٤}
٦	۱۲۸۰٤×۱۰^{۱۰}	٥۸۱٦٤×۱۰^{۱۰}	۱۷۸٥×۱۰^{۱۲}	۹۸۸۹۹×۱۰^{٥}	۱٦۸٦۳×۱۰^{۷}



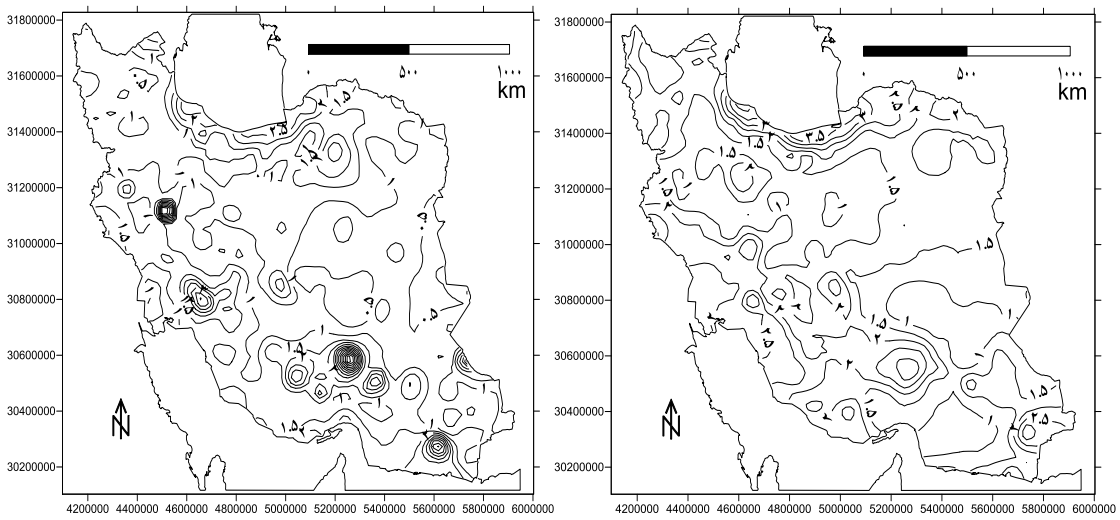
شکل ٤: پیش‌بینی احتمال وقوع (٪) در تابستان



شکل ۳: پیش‌بینی احتمال وقوع (٪) در بهار

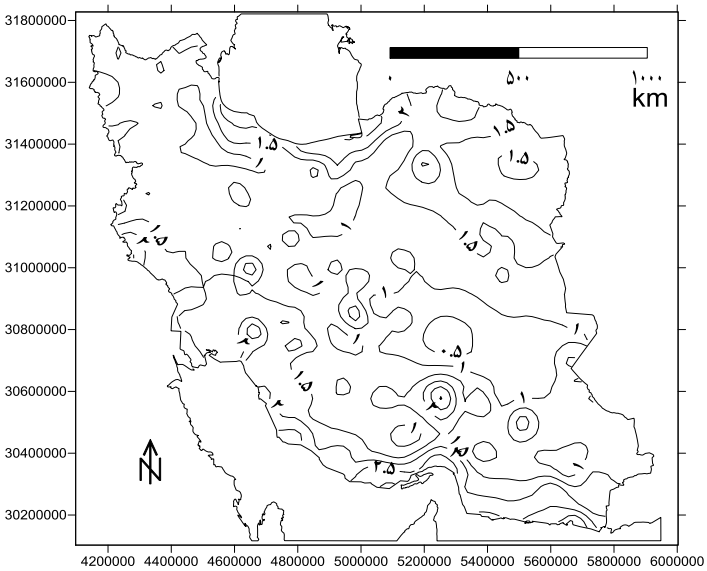
(شکل ۳) نشان می‌دهد در فصل بهار احتمال وقوع دمای فراهنجار در سواحل دریای عمان و خلیج‌فارس شیب تندی پیدا کرده و نسبت به بقیه نقاط کشور که شرایط تقریباً مشابهی دارند، بیش‌تر بوده به‌طوری که در سواحل دریای عمان به ٤٪ افزایش می‌یابد. برای سواحل جنوبی در فصل تابستان (شکل ٤) احتمال وقوع تا فاصله نسبتاً زیادی از ساحل حداکثر به ۲٪ می‌رسد. احتمال رخ‌داد دمای فراهنجار در سواحل جنوبی در فصل بهار بیش‌تر از تابستان است. در سایر نقاط کشور با توجه به موقعیت جغرافیایی پستی و بلندی، کوه‌ها و دشت‌ها احتمالات متغیر است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۵: پیش‌بینی احتمال وقوع (٪) در پاییز **شکل ٦: پیش‌بینی احتمال وقوع (٪) در زمستان**

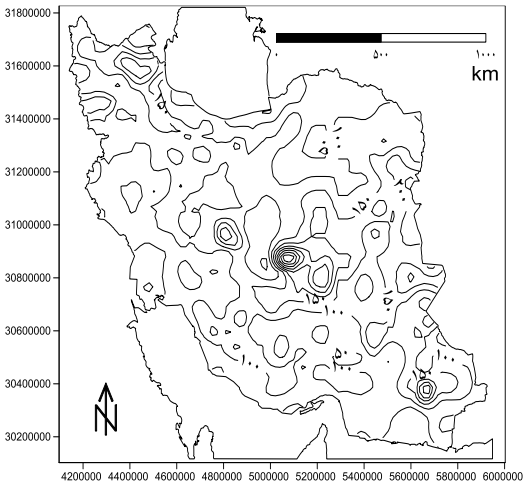
در (شکل ۵) می‌بینیم در فصل پاییز احتمال وقوع دمای فراهنجار نسبت به سایر فصول کم‌تر است (جدول ٤). شیب بسیار تند منحنی‌های احتمال رخ‌داد به‌ویژه در قله‌های بلند زاگرس و ارتفاعات کرمان نشان می‌دهد که این مناطق در فصل پاییز نسبت به سایر مناطق کشور احتمال وقوع دماهای فراهنجار بیش‌تری را تجربه می‌کنند. در فصل زمستان احتمال وقوع دمای فراهنجار در سواحل دریای خزر بیش‌تر از سایر مناطق کشور است.



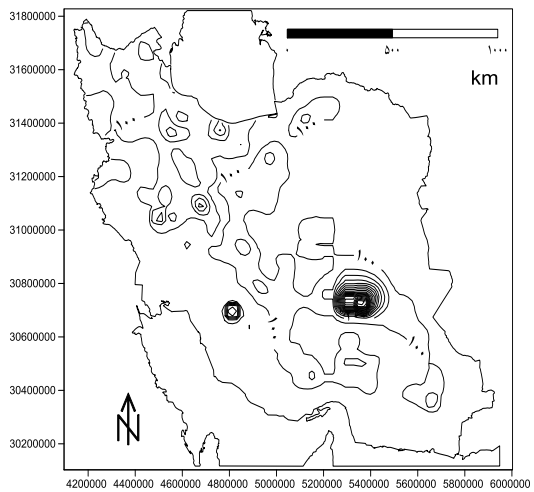
شکل ۷: پیش‌بینی احتمال وقوع (٪) میانگین سالانه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نقشه میانگین سالانه (شکل ۷) نشان می‌دهد احتمال وقوع دماهای فراهنجار در نیمه جنوبی کشور به‌خصوص سواحل جنوبی بیش‌تر از سایر نقاط کشور است.

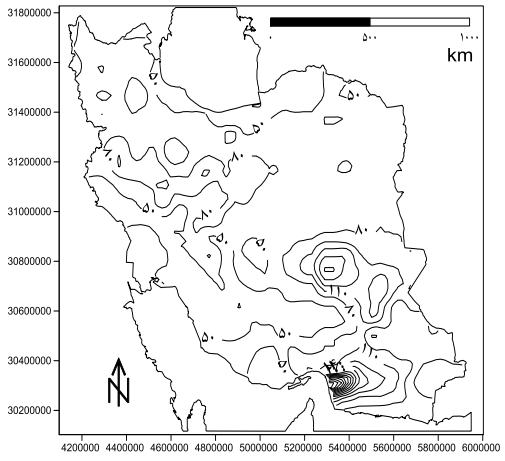


شکل ۸: دوره بازگشت دو روزه موج گرما بهار

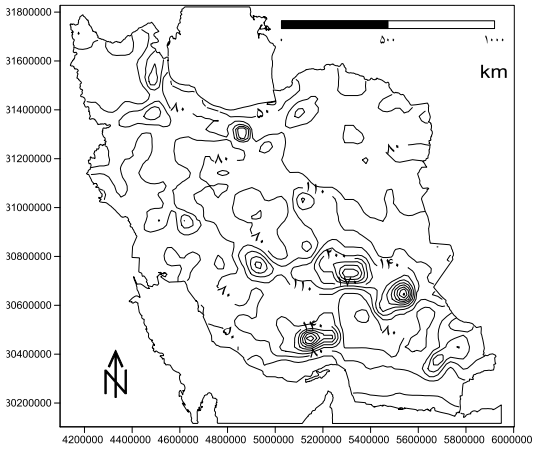


شکل ۹: دوره بازگشت دو روزه موج گرما تابستان

(شکل ۸) دوره بازگشت دمای بالا با تداوم دو روز را در بهار نشان می‌دهد. شیب ملایم خطوط یکنواختی دوره بازگشت در پهنه وسیعی از کشور را تا ۱۰۰ روز نشان می‌دهد. منحنی‌های بسته در نواحی مرکزی ایران مشخص می‌کند بیش‌ترین دوره بازگشت مربوط به این بخش بوده و به ۲۰۰۰ روز نیز می‌رسد. در (شکل ۹) منحنی‌های بسته کمی به سمت شمال‌غرب عقب‌نشینی کرده و دوره بازگشت کوتاه‌تری پیدا می‌کند.



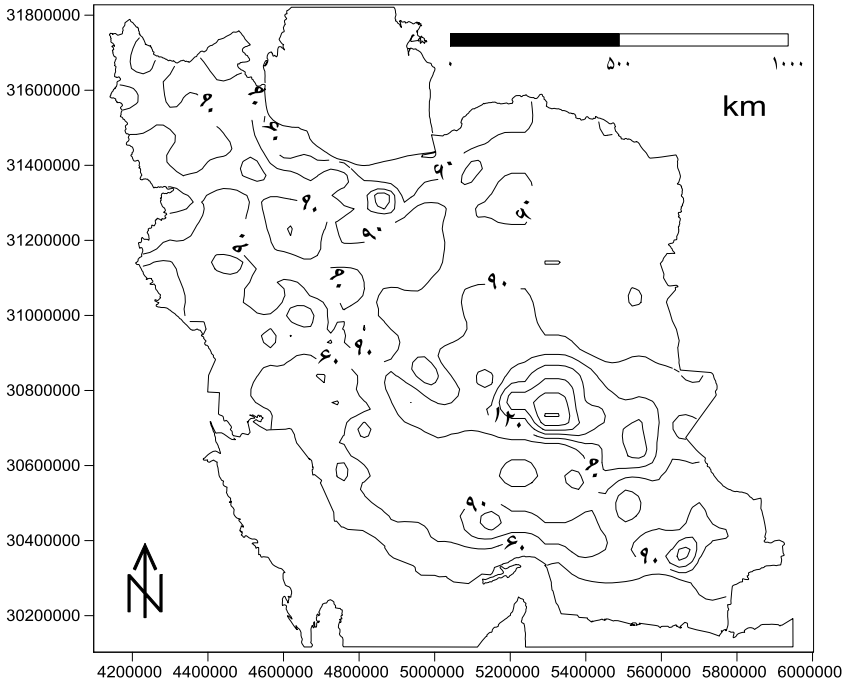
شکل ۱۰: دوره بازگشت دو روزه موج گرما پاییز



شکل ۱۱: دوره بازگشت دو روزه موج گرما زمستان

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

دوره بازگشت دمای بالا در پاییز، (شکل ۱۰) تقریباً در همه جای کشور مشابه می‌باشد. مثلاً منحنی ۵۰ روز بخش وسیع کشور، از یزد گرفته تا اصفهان، استان‌های سواحل شمالی کشور تا خراسان شمالی و مشهد را پوشش می‌دهد. در صورتی که تراکم شدید منحنی‌ها در ساحل شرقی تنگه هرمز بیان می‌کند که وقوع دمای بالا دو روزه گرما در این منطقه بسیار نامحتمل است. کوتاه‌ترین دوره بازگشت در این ناحیه ۱۱۰ روز و به طرف مرکز تا ٤٧٠ روز افزایش می‌یابد. همان‌گونه که در (شکل ۱۱) مشاهده می‌شود دوره بازگشت دمای بالا در همه جای ایران در فصل زمستان هم کوتاه‌تر از سایر فصول است و هم در سطح کشور توزیع یکنواخت‌تری دارند. طولانی‌ترین دوره بازگشت دمای بالا با تداوم دو روز در این فصل، شمال تنگه هرمز و به‌طور کلی درجنوب‌شرقی کشور است. بدین معنی که دمای این مناطق در فصل زمستان به ندرت از میانگین سالانه بیش‌تر می‌شود.



شکل ۱۲: دوره بازگشت دو روزه دماهای فراهنجار میانگین سالانه

(شکل ۱۲) نقشه میانگین سالانه دوره بازگشت دماهای فراهنجار دو روزه، نشان می‌دهد به‌طور کلی در تمام کشور دوره بازگشت دمای بالا بین ٦٠ تا ۹۰ روز بیش‌ترین فراوانی را دارد؛ و به طور محدود در ارتفاعات شمال کرمان تا ٢٤٠ روز بالغ می‌شود. شیب ملایم منحنی‌ها در بخش گسترده کشور بیان می‌کند این مناطق کم‌تر از میانگین سالانه دمایی خود دور می‌شوند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با به کار بردن اطلاعات ٤٢ ساله دمای حداکثر روزانه ایران سری زمانی دمای بالا با مدل زنجیره مارکف شبیه‌سازی شد. سپس با در دست داشتن عناصر p (احتمال وقوع دمای بالا) و q (احتمال عدم وقوع دمای بالا) از ماتریس پایا شده پیش‌بینی وقوع دماهای فراهنجار امکان‌پذیر شد. نتایج نشان داد که در طول دوره مطالعه ۱۰۷ بار انتقال از یک روز همراه با دمای بالا به روز دیگر همراه با دمای بالا بوده است. احتمالات انتقال مارکوف نیز احتمال P_{11} را ٤٤٪، P_{10} را ٥٦٪، P_{01} را ۰/۸٪، P_{00} را ۹۹/۲٪ تعیین کرد. بیش‌ترین احتمال وقوع دماهای فراهنجار پی‌درپی مربوط به ژانویه با احتمال ۵۱٪ و کم‌ترین احتمال ۲۹/۵٪ در اکتبر است. نقشه‌های پیش‌بینی نشان داد که در فصل بهار احتمال وقوع دمای فراهنجار در سواحل دریای عمان و خلیج‌فارس به ٤٪ می‌رسد. منحنی‌های احتمالِ سواحل جنوبی در فصل تابستان شیب ملایمی داشته و تا فاصله زیادی از ساحل ۲٪ است. قله‌های بلند زاگرس و ارتفاعات کرمان در فصل پاییز نسبت به سایر مناطق کشور احتمال وقوع دماهای فراهنجار بیش‌تری را تجربه می‌کنند. در فصل زمستان احتمال وقوع دمای بالا در سواحل دریای خزر بیش‌تر از سایر مناطق کشور است. نقشه‌های دوره بازگشت دو روزه گرما و محاسبات نشان می‌دهد دوره‌ی بازگشت فصل بهار در پهنه‌ی وسیعی از کشور ۱۰۰ روز و در حوالی دشت لوت به ۲۰۰۰ روز می‌رسد، در حالی که نیمه‌ی غربی و شمال‌غربی گرم‌تر شده (دوره بازگشت کوتاه‌تر) ولی دمای مناطق گرم و خشک داخلی تفاوت معناداری را از میانگین سالانه‌ی خود نشان نمی‌دهند در واقع احتمال اینکه دو روز متوالی دما از میانگین سالانه فراتر برود دوره‌ی بازگشت طولانی ۲۰۰۰ روز دارد و بیانگر این واقعیت است که تفاوت مکانی دما در ایران رو به کاهش است. در تابستان با اندکی جابجایی دوره‌ی بازگشت طولانی باز هم مربوط به مرکز و جنوب شرق کشور است. در پاییز دوره‌ی بازگشت کوتاه‌تر دمای بالا تا ۵۰ روز نسبت به بهار و تابستان حکایت از افزایش دمای فصول سرد در کشور دارد و همچنان جنوب‌شرقی تفاوت چندانی را از میانگین سالانه نشان نمی‌دهد. این مطلب را دوره‌ی بازگشت ٤٧٠ روز روشن می‌کند. زمستان کوتاه‌ترین دوره‌ی بازگشت را دارد. در این فصل بیش‌تر از سایر فصول دما از میانگین سالانه بالاتر می‌رود. بررسی نقشه‌های دوره‌ی بازگشت به وضوح نشان می‌دهد، هم از نظر مکانی و هم از نظر زمانی تفاوت دما در سطح کشور رو به کاهش و میانگین سالانه دمای کشور رو به افزایش است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Abbasi Nia, M., Tavousi, T., Pourhashemi, S., (2015). "Analysis and forecast of Sabzevar short term storm course with Markov chain model", ***Geographical Space***, 15 (50): 233-250. [In Persian].
- Asakere, H., (2008), "Investigation of the probability of continuity and rainy days in Tabriz city using Markov chain model", ***Iranian water Resources Magazin***, No. 2:1-16. [In Persian].
- Berger, A. Goossens, C.H.R., (1983). Persistence of wet and dry spells at Uccle (Belgium). ***J. Climatol***, 3: 21-34.
- Cazacioc, L., Cipu, E. C., (2004), "Evaluation of the transition probabilities for daily precipitation time series using a Markov chain model", Proceedings of The 3-rd International Colloquium, ***Mathematics in Engineering and Numerical Physics***, Splaiul Independentei 313, Ro-060042, Romania, Bucharest, October (2004) 7-9.
- Esmail Nejad, M., Khosrave, M., Alijani, B., Masoudian, A., (2013), "Identification of Iran's heat waves", ***Geography and development***, 33: 39-54. [In Persian].
- Fujibe, F., Yamazaki, N., Kobayashi, K., Nakamigawa, H., (2007), "Long-term changes of temperature extremes and day-today variability in Japan", ***papers in Meterology and Geophysics***, 58: 63-72.
- Giuseppe, E., Vento, D., Epifani, C., Esposito, S., (2005), "Analysis of dry and wet spells from 1870 to 2000 in four Italian sites", ***Geophysical Research Abstrcts***, p 7.
- Higgins, M., (2000), "***Probability concepts and randomized modeling***", Translation by Ali Meshkani, Ferdowsi University Press: Mashhad. [In Persian].
- IPCC, (2007), "The physical science basis, Working Group I Contribution to the IPCC fourth assessment report, In: Solomon", S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., climate change.
- Kerkides, P., Ochola, W. O., (2003), "Markov chain simulation model for predicting critical wet and dry spells in Kenya: analyzing rainfall events in the Kano Plains"**,** ***Irrigation and Drainage***, 52: 327-342.
- Kovats, S. R., Ebi, L. K., (2006), "***Heat waves and public health in Europe***", Eur J Public Health 16. London.
- Kulkarni, M., Kandalgaonkar, s., Tinmaker, M., Nath, A., (2002), "Markov chain models for pre-monsoon season thunderstorms over Pune", ***Internation J. of Climatology***, 22: 1415-1420.
- Lennartsson , J., Baxevani, A., Chen, D., (2008)."Modelling precipitation in Sweden using multiple step markov chains and a composite mode", ***Journal of Hydrology***, 363: 42-59.
- Mahavarpour, Z., (2012), "Iran's rainfall Markov model based on Asfazari database"**,** Master's thesis.***Human Faculty, Esfahan university***. [In Persian].
- Marze, G., (2001), "Analysis and weather forcast with Markov chain model", Master's thesis, Human Faculty, Tarbiat Moalem university of Tehran. [In Persian].
- Massoudian, S. A., (2011), "Iran's Weather", ***Sharia Tous publishing house of mashhad.*** [In Persian].
- Momene, M., (1994), "***Optical Model operational research***", theran: Publication Samt. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- NOAA., (2007), "***Natural Hazard Statistics***", National Oceanic and Atmospheric Administration. Washington U.S.A.
- Paulo, A. A., Pereira, L. S., (2005), "Drought class transition analysis through Markov and Log linear models, an approach to early warning", ***Agricultural Water Management***, 77: 59-81.
- Tavousi, T., Rigi, A., (2017). "Analysis of continuity of stormy days in Zahedan city with Markov chain model", ***Geographical Space***, 17 (58): 131-148. [In Persian].
- Yazdan Panah, H., Alizade, T., (2001), "Estimation of the probability of occurrence of heat waves whit different continuity periods in Kerman province using Markov chain", ***Quarterly Journal of Geographic research***, 3: 17300-17322. [In Persian].
- Zarei, H., Shahkar, Gh., (2001), "Investigating the likelihood of rainfall and dry days in Khoramdare, Ardak and Zoshk areas", ***Jornal: probability and Random processes seminar, The third probability and Random processes seminarE sfahan university 7, 8 shahrevar***, 3: 134-144. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]