

## تداوم روزهای همراه با موج گرمایی در اقلیم‌های مختلف با استفاده از زنجیره مارکف

سیده اسرین حسینی<sup>۱</sup>، صفر معروفی<sup>۲\*</sup>، نادیا شهرکی<sup>۳</sup> و محمد محمدی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۲۶

- ۱- کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
  - ۲- استاد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
  - ۳- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
  - ۴- کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
- \*مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: marofi@basu.ac.ir

### چکیده

در چند دهه اخیر تغییرات دما روند افزایشی داشته و این تغییرات در مناطقی همچون ایران که در کمربند خشک و نیمه‌خشک دنیا واقع شده است، چشم‌گیرتر می‌باشد. موج‌های گرمایی شدید از مهم‌ترین بلایای آب و هوایی بوده که هر سال پیامدهای زیست محیطی مخربی را در طبیعت به جای می‌گذارند. در این پژوهش، پس از شناسایی موج‌های گرمایی، احتمال ساده، احتمال ساکن و احتمال تداوم‌های پی‌درپی دو تا پنج روزه محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، دمای بیشینه روزانه ۳۰ ساله ۱۶ ایستگاه با اقلیم‌های متفاوت (اقلیم خشک سرد تا مرطوب معتدل) و زنجیره مارکف مرتبه اول استفاده شد. نتایج نشان داد، بیشینه مقدار متوسط احتمال ساده روز با موج گرمایی متعلق به ایستگاه بندرعباس با مقدار ۶/۱ درصد و کمترین آن مربوط به ایستگاه خرم‌آباد با مقدار ۰/۲ درصد است. همچنین، ایستگاه بندرعباس دارای بیشترین مقدار درصد متوسط احتمال تداوم‌های پی‌درپی ۲ تا ۵ روزه همراه با موج گرما است که مقدار آن به ترتیب، برابر ۲/۹۱، ۱/۴۰، ۰/۶۷ و ۰/۳۱ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: احتمال ساده، احتمال ساکن، تداوم پی‌درپی، بیشینه دمای روزانه، زنجیره مارکف مرتبه اول

## The Duration of Days with Heat Waves in Different Climates Using Markov Chain

A Hosseini<sup>1</sup>, S Maroff<sup>2\*</sup>, N Shahraki<sup>3</sup> and M Mohamadi<sup>4</sup>

Received: June 02, 2017

Accepted: March 17, 2019

1. M.Sc of Water Resources Engineering, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2. Professor of Water Resources Engineering, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3. Ph.D. Student of Water Resources Engineering, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

4. M.Sc of Water Resources Engineering, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

\*Corresponding Author, E-mail: marofi@basu.ac.ir

### Abstract

The temperature changes have shown increasing trend in recent decades and these changes are much more significant in regions like Iran, which is located in the arid and semi-arid belt of the world. Intensive heat waves are of the most important climatic disasters, which have devastating environmental implications in the nature every year. In this study, the simple probability, stationary probability and consecutive probability of 2-5 days were calculated, after identifying the heat waves. For this purpose, the 30 years data of daily maximum temperature from 16 stations with different climates (cold and dry to moderate humid climates) and were used for application of the first order Markov chain. Results indicated that the maximum and minimum values of the simple probability with of the heat wave days were observed at Bandar- Abbas and Khorram Abad stations with amount 6.1% and 0.2%, respectively. Also, Bandar- Abbas station had the maximum percentage of the average consecutive probability of 2-5 days with the heat wave amounts of 2.91, 1.40, 0.67 and 0.31%, respectively.

**Keywords:** Consecutive continues, First order Markov chain, Maximum daily temperature, Simple probability, Stationary probability

### مقدمه

کشاورزی، محیط زیست است، مطالعات اولیه در زمینه تاثیر پدیده تغییر اقلیم عمدتاً بر روی این دو متغیر می باشد (آشفته و همکاران ۱۳۸۸). دما یکی از عمده ترین و اساسی ترین عناصر اقلیمی است که به علت اهمیت آن از دیرباز مورد توجه اقلیم شناسان بوده است (صفری و همکاران ۱۳۹۳). در این مطالعه، دیدگاه مورد نظر از تغییر اقلیم، میزان تغییر پارامتر دما در طول یک دوره زمانی است و از آنجا که دما از عناصر اصلی شکل گیری اقلیم است، تغییرات آن می تواند ساختار آب و هوایی هر محل را دگرگون سازد. به همین دلیل است

پیش بینی کیفیت و کمیت تغییرات آب و هوایی، موضوعی است که همواره مورد توجه هواشناسی قرار گرفته و شناخت سیستم آب و هوایی گامی اساسی در روند پیش بینی است. تغییر اقلیم، تغییر معنی دار در متوسط داده های هواشناسی در طی یک دوره زمانی معین است که علل وقوع آن به عوامل کیهانی، زمینی و انسانی نسبت داده می شود (عزیزی ۱۳۸۳). از آنجا که تاثیر بارزتر متغیرهای دما و بارش (نسبت به دیگر متغیرهای اقلیمی) بر روی سیستم های منابع آب،

(۲۰۱۵) تنوع جغرافیایی در ارتباط با خطرات نسبی موج گرما را در اسپانیا بررسی کردند. هدف از این مطالعه به‌روز رسانی برنامه‌های پیشگیری امواج گرمایی اسپانیا بود. در مورد اسپانیا به‌روزرسانی برنامه‌ها با در نظر گرفتن تغییرات آستانه دمایی با استفاده از مقادیر دمایی به‌دست آمده از داده‌های اقلیمی و مطالعات اپیدمیولوژیک، انجام شد و نتایج آستانه دمایی را برای ۵۲ مرکز ایالتی اسپانیا بررسی کردند و اثرات گرما را بر روی مرگ و میر به‌وسیله ارتباط خطرات و انتقال خطرات بر روی طبیعت محاسبه نمودند. نتایج به‌دست آمده از آستانه دمایی و مخاطرات الگوی یکنواخت‌تری نسبت به نتایج به‌دست آمده از داده‌های اقلیمی نشان داد. مارتینز و همکاران (۲۰۱۵) در مکزیک به بررسی روند دما و موج گرما با استفاده از تجزیه و تحلیل مشاهدات اقلیمی پرداختند. نتایج آنان نشان داد که روند واضحی در افزایش دما و وقوع امواج گرمایی وجود دارد. دیاز و همکاران (۲۰۰۶) آثار موج گرمایی را بر زندگی انسان بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که برای جلوگیری از زیان موج گرمایی بر روی زندگی انسان‌ها باید حداقل تا دو روز قبل از وقوع موج گرمایی آن را شناسایی کرد، در غیر این صورت با بالا رفتن آستانه درجه حرارت میزان مرگ و میر هم افزایش می‌یابد.

بالدی و همکاران (۲۰۰۴) با مطالعه موج گرمایی بر روی حوضه مدیترانه، داده‌های ۵۳ سال آماری و دوره‌ی گرم سال (تابستان) حوضه مدیترانه را با استفاده از داده‌های NCAR-NCEP تجزیه و تحلیل کردند و به این نتیجه رسیدند که در ماه تیر و مرداد این پدیده از بقیه ماه‌ها چشم‌گیرتر است. نتایج آنها نشان داد موج گرمایی در تیر به‌صورت موج گرمایی کوتاه و در مرداد ماه به‌صورت موج گرمایی بلندمدت هستند. کولاسینو و همکاران (۱۹۹۴) میزان افزایش دما و پیامد آن موج گرمایی را بر روی حوضه مدیترانه مطالعه نموده، آن را به دو دسته موج کوتاه و بلند تقسیم‌بندی

که بررسی روند دما در مقیاس‌های مختلف زمانی- مکانی، بخش بزرگی از تحقیقات اقلیم‌شناسی را به خود اختصاص داده است (احمدی و همکاران ۱۳۹۴). گرمایش شدید هوا یا حاکمیت و تهاجم هوای بسیار گرم در ناحیه‌ای وسیع را موج گرما می‌نامند (اسماعیل- نژاد و همکاران ۱۳۹۲). موج گرمایی شاخصی به نام شاخص بالدی برای محاسبه دارد که اگر حداکثر دمای روزانه از مقدار شاخص بیشتر باشد آنگاه موج گرمایی خواهیم داشت. امواج گرمایی، به‌عنوان یک مخاطره اقلیمی در سال‌های اخیر رخداد بیشتری داشته‌اند که این امر از تظاهرات تغییرات آب و هوایی کره زمین به‌شمار می‌رود. باید باور داشت که امواج گرمایی با تغییرات اقلیمی، فراوان‌تر و گسترده‌تر شده و تداوم آنها نیز بیشتر می‌شود. بنابراین شناخت ویژگی‌های امواج گرما، شدت، تداوم و گسترش آن‌ها ضروری است.

موج‌های گرمایی از مهم‌ترین بلایای جوی بوده و بررسی میزان مرگ و میر سالانه ناشی از مخاطرات اقلیمی نشان می‌دهد که امواج گرمایی باعث بیشترین میزان مرگ و میر نسبت به دیگر رخداد‌های اقلیمی می‌شوند (اداره ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده آمریکا ۲۰۰۷). از مهم‌ترین امواج گرمایی که در گذشته اتفاق افتاده‌اند می‌توان به موج گرمای فرانسه در تابستان ۲۰۰۳ که گرم‌ترین سال در ۲۵۰ سال گذشته آن کشور بوده است (اسپار و همکاران ۲۰۰۴)، یا امواج گرمایی ژوئن ۱۹۹۸ در جنوب و جنوب شرق آسیا و همچنین موج گرمای گسترده و شدید ژوئیه ۱۹۹۵ در شیکاگو که باعث مرگ و میر انسان‌ها گردید اشاره کرد.

در زمینه امواج گرمایی مطالعات زیادی در جهان صورت گرفته است. باروس اولین کسی بود که مطالعات خود را از اواخر قرن ۱۹ در زمینه‌ی امواج گرمایی شروع کرد (رابینسن ۲۰۰۱). دیاز و همکاران

<sup>1</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

بیشتری دارند و کانون بیشینه امواج ماهانه پایان زمستان است. همچنین بسامد رخداد امواج گرمایی طی سال‌های اخیر بیشتر شده است.

پیش‌بینی پدیده‌های جوی به دو صورت دینامیکی و آماری امکان‌پذیر است. در میان روش‌های آماری زنجیره مارکف در علوم جوی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. زنجیره مارکف روشی برای مدل‌سازی فرآیندهای احتمالاتی است که اغلب در مسائل کشاورزی، هواشناسی، منابع طبیعی، اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی و غیره کاربرد دارد. بر اساس زنجیره مارکف، احتمال وقوع یک حالت اقلیمی در زمان  $t$  بستگی به وضعیت آن در زمان  $t-1$  دارد. در زمینه برآورد امواج گرمایی با استفاده از زنجیره مارکف می‌توان به تحقیقات یزدان پناه و علیزاده (۱۳۹۰) اشاره کرد که در یک مطالعه احتمال وقوع امواج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان را به کمک زنجیره مارکف و آمار بلندمدت ۲۰ ساله دمای حداکثر روزانه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین موج گرمایی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت رخ داده است و این تغییرات روندی افزایشی در طول دوره آماری داشته‌اند، به‌خصوص در سال ۲۰۰۰ میلادی به حداکثر اوج خود رسیده و پس از آن دوباره طبق روند قبلی در حال افزایش است. همچنین فریدونی و همکاران (۲۰۱۵) به برآورد احتمال وقوع موج گرما با استفاده از مدل زنجیره مارکف مرتبه اول در ده ایستگاه آب و هوایی در دامنه کوه‌های شمالی و جنوبی البرز با استفاده از داده‌های سال ۲۰۱۰-۱۹۸۰ پرداختند. نتایج نشان داد که در دامنه کوه‌های شمالی موج گرمای کوتاه‌مدت (امواجی که بین ۱ تا ۶ روز تداوم دارند) مربوط به گرگان و بلندمدت (امواجی که بیشتر از ۶ روز تداوم دارند) مربوط به قائم شهر می‌باشد و در دامنه جنوبی امواج بلندمدت مربوط به سمنان است همچنین فرکانس ۱ تا ۳ روزه موج گرما در تمام

نمودند و با تحلیل آماری داده‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۲ به این نتیجه رسیدند که ارتباطی بین وجود الگوهای واچرخندی (حرکت یک توده هوا بر خلاف عقربه‌های ساعت می‌باشد که الگوی آنتی سیکلونی هم نام دارد) و به‌وجود آمدن موج گرمایی در حوضه مورد مطالعه وجود دارد.

دارند (۱۳۹۳) در پژوهشی به شناسایی و تحلیل زمانی- مکانی امواج گرما در تمام ایران پرداخته و برای انجام این پژوهش از داده‌های بیشینه و کمینه روزانه‌ی داده‌های درون‌یابی شده پایگاه داده اسفزاری<sup>۲</sup> طی بازه زمانی ۱۹۶۲-۲۰۰۴ استفاده کرده است. جهت شناسایی امواج گرمایی از شش نمایه بر پایه صدک‌های ۹۰، ۹۵ و ۹۹م استفاده شده که شدت، دوام و بسامد رخداد امواج گرمایی را نمایان می‌کنند. مدت دوام موج گرمایی یکی از ویژگی‌های اصلی و ذاتی است که در تمام تعاریف موج گرما آشکار است. گرما نیز یا به‌صورت عدد (آستانه‌ی عددی) یا به‌صورت صدک (آستانه‌ی صدکی) که در نهایت بر پایه‌ی عدد نمود پیدا کرده، بیان شده است. یافته‌ها نشان داده که بسامد رخداد امواج گرمایی در ایران زمین رو به افزایش است. علاوه بر افزایش بسامد، ماندگاری و شدت امواج گرمایی نیز افزایش یافته است. از لحاظ پراکنش مکانی، نوع و نرخ روند (افزایشی یا کاهششی) امواج گرمایی بر روی مناطق مختلف هم‌اندازه و یکسان نیست. جامع‌ترین پژوهش بر روی امواج گرمای ایران مربوط به مطالعه اسماعیل‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) است که با نگاه هم‌دیدگی و آماری انجام شده است. ایشان با استفاده از داده‌های درون‌یابی شده‌ی پایگاه داده اسفزاری ویرایش نخست و با کمک روش فومیایکی<sup>۳</sup> امواج گرمایی را شناسایی کردند. یافته‌ها نشان داد که امواج گرمایی کوتاه تداوم

۲ مجموعه‌ای از داده‌های شبکه‌ای چندین عنصر اقلیمی در سراسر ایران که به‌نام اقلیم‌شناس ابوحاتم اسفزاری نام گذاری شده است

<sup>3</sup> Fumiaki

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - m)^2}{n}} \quad [2]$$

در این روابط  $m$  میانگین داده‌ها،  $x_i$  دمای حداکثر ایستگاه‌ها،  $n$  تعداد روز و  $\sigma$  انحراف معیار مشاهدات دمای حداکثر روزانه ایستگاه‌ها می‌باشد که برای کل روزهای آماری محاسبه شده است. برای تعیین آستانه-ای به عنوان تعیین روزهایی که موج گرمایی رخ داده است، از شاخص موج گرمایی بالدی و همکاران (۲۰۰۴) استفاده شد که در معادله ۳ آورده شده است.

$$\text{heat wave} = m + 1.5 * \sigma \quad [3]$$

برای تعریف موج گرمایی رابطه فوق به صورت نقطه‌ای برای هر ایستگاه به‌طور جداگانه محاسبه شده و روزهایی که آمار دمای حداکثر آنها از شاخص مورد نظر بیشتر بود، به دو دسته موج گرمایی کوتاه‌مدت و موج گرمایی بلندمدت تقسیم‌بندی شدند. دسته اول امواجی هستند که بین ۱ تا ۶ روز تداوم داشتند و دسته دوم امواجی هستند که ۶ روز یا بیشتر تداوم داشتند.

#### مدل زنجیره مارکف

در این تحقیق برای بررسی احتمال تداوم پی‌در-پی از مدل زنجیره مارکف استفاده شد. اگر مدل برای موج گرمایی روزانه تعریف شود، فضای حالت  $S$  در یک روز معین، یکی از دو وضعیت  $S = \{C, W\}$  خواهد بود که در آن  $W$  و  $C$  به‌ترتیب معرف روز همراه با موج گرما و روز بدون موج گرما می‌باشد. مرتبه زنجیره مارکف مشخص می‌کند که حالت فعلی یک سیستم به چند حالت قبلی وابستگی دارد (ارشقی ۱۳۶۵). در این مطالعه از زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالت (وقوع و عدم وقوع) استفاده شد که بیان ریاضی آن به صورت رابطه ۴ می‌باشد (آبابایی و همکاران ۱۳۹۴).

$$P_{uv} = P\{X_t = v | X_{t-1} = u\} \quad [4]$$

ایستگاه‌ها دیده می‌شود اما فرکانس ۱ تا ۵ روزه در ایستگاه‌های دامنه جنوبی واضح‌تر می‌باشد.

همان‌طور که می‌توان استنباط کرد بیشتر مطالعات انجام شده به‌خصوص در داخل کشور بر روی برخی ویژگی‌های امواج گرمایی، مانند فراوانی، شدت، دوره بازگشت و دوره تداوم امواج متمرکز بوده است و در مورد ویژگی‌های دیگر این پدیده اقلیمی، همچون احتمال ساده، احتمال ساکن و احتمال تداوم پی‌درپی مطالعاتی صورت نگرفته است. بنابراین هدف این تحقیق شناسایی امواج گرمایی روزانه و بدست آوردن احتمال‌های ساده، ساکن و تداوم‌های دو، سه، چهار و پنج روزه امواج گرمایی ایستگاه‌های همدید اردبیل، اصفهان، اهواز، تبریز، خرم‌آباد، زنجان، گرگان، شیراز، همدان، بندرعباس، زاهدان، کرمان، مشهد، ساری و یاسوج با استفاده از مدل زنجیره مارکف می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

دلایل انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه در این تحقیق، پراکنش مناسب آنها در اقلیم‌های مختلف ایران بوده است. در ایستگاه‌های مورد بررسی، برای ارزیابی روند دما داده‌های روزانه حداکثر دما برای دوره گرم سال (ماه‌های فروردین- شهریور) گردآوری شد. مشخصات جغرافیایی و اقلیمی این ایستگاه‌ها در جدول شماره ۱ آورده شده است. پهنه‌بندی اقلیمی این ایستگاه‌ها به روش دومارتن<sup>۴</sup> گسترش یافته مشخص شده است (خلیلی ۱۹۹۷).

#### محاسبه شاخص موج گرمایی

برای محاسبه شاخص موج گرمایی، ابتدا میانگین و انحراف معیار داده‌های هر ایستگاه به کمک معادله-های ۱ و ۲ محاسبه شد (بالدی و همکاران ۲۰۰۴).

$$m = \frac{\sum x_i}{n} \quad [1]$$

<sup>4</sup> De Martonne

عبارتند از، روز بدون موج گرمایی بعد از یک روز بدون موج، روز همراه با موج گرمایی بعد از روز بدون موج، روز همراه با موج گرما بعد از یک روز همراه با موج و روز بدون موج گرما بعد از یک روز همراه با موج.

رابطه ۴ بیان می‌کند که حالت یک متغیر  $x$  در زمان  $t$  صرفاً به حالت آن در زمان  $t-1$  وابسته است نه به مسیری که سیستم از طریق آن به حالت فعلی رسیده است. بنابراین، چهار حالت انتقال ممکن خواهد بود که

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه به روش دومارتن گسترش یافته.

دوره آماری	نوع اقلیم	ضرایب روش دومارتن گسترش یافته		ارتفاع از سطح دریا (m)	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		ایستگاه
		$m^*$	$I^*$		درجه دقیقه	درجه	درجه دقیقه	درجه	
۱۹۸۱-۲۰۰۹	نیمه خشک سردسیر	-۳	۱۲/۷۴	۱۷۵۳/۸	۵۶	۵۸۰	۳۰	۱۵	کرمان
۱۹۸۱-۲۰۰۹	نیمه خشک سردسیر	-۶/۵	۲۱/۲	۹۹۹/۲	۵۹	۳۸	۳۶	۱۶	مشهد
۱۹۸۱-۲۰۱۰	نیمه خشک سردسیر	-۵/۷	۲۴	۱۱۴۷/۸	۴۶	۱۷	۳۸	۰۵	تبریز
۱۹۸۱-۲۰۱۰	نیمه خشک معتدل	۰/۱	۴۲/۴	۱۱۴۷/۸	۴۸	۱۷	۳۳	۲۶	خرم آباد
۱۹۸۱-۲۰۱۰	نیمه خشک معتدل	۰/۲	۲۸/۸	۱۴۸۴	۵۲	۳۶	۲۹	۲۳	شیراز
۱۹۸۱-۲۰۱۰	نیمه خشک فراسرد	-۷/۹	۲۵/۳	۱۳۳۲	۴۸	۱۷	۳۸	۱۵	اردبیل
۱۹۸۱-۲۰۱۰	نیمه خشک فراسرد	-۷/۵	۲۶	۱۶۶۳	۴۸	۲۹	۳۶	۴۱	زنجان
۱۹۸۱-۲۰۱۰	خشک سردسیر	-۲/۵	۱۰/۲	۱۵۵۰/۴	۵۱	۴۰	۳۲	۳۷	اصفهان
۱۹۸۱-۲۰۰۸	خشک سردسیر	-۰/۴	/۴	۱۱۹۰/۸	۵۱	۱۹	۳۵	۴۱	تهران
۱۹۸۱-۲۰۰۹	خشک معتدل	۰/۲	۷/۵	۱۳۷۰	۶۰	۵۳	۲۹	۲۸	زاهدان
۱۹۸۱-۲۰۰۹	خشک گرمسیر	۱۲/۲	۱۵/۲	۹/۸	۵۶	۲۲	۲۷	۱۳	بندرعباس
۱۹۸۱-۲۰۱۰	خشک گرمسیر	۲/۷	۱۷/۸	۲۲/۵	۴۸	۴۰	۳۱	۲۰	اهواز
۱۹۸۱-۲۰۱۰	مدیترانه‌ای معتدل	۳/۴	۵۰	۱۳/۳	۵۴	۱۶	۳۶	۵۱	گرگان
۱۹۸۷-۲۰۱۰	مرطوب سردسیر	-۲	۷۲	۱۸۵۳/۵	۵۱	۴۱	۳۰	۵۰	یاسوج
۲۰۰۰-۲۰۱۰	مرطوب معتدل	۴/۳	۶۵۴/۸	۲۳	۵۳	۰۰	۳۶	۳۳	ساری
۱۹۸۱-۲۰۱۰	نیمه خشک فراسرد	-۷/۹	۲۶/۴	۱۷۴۱	۴۸	۳۰	۳۴	۵۰	همدان

$I^* =$  میانگین بارندگی سالانه

$m^* =$  میانگین حداقل‌های روزانه در سردترین ماه سال به درجه سلسیوس

$$P_{00} = P_r\{X_{t+1} = 0 | X_t = 0\} \quad [۵]$$

$$P_{01} = P_r\{X_{t+1} = 1 | X_t = 0\} \quad [۶]$$

$$P_{10} = P_r\{X_{t+1} = 0 | X_t = 1\} \quad [۷]$$

$$P_{11} = P_r\{X_{t+1} = 1 | X_t = 1\} \quad [۸]$$

در این مطالعه روز همراه با موج گرمایی با کد ۱ و روز بدون موج گرما با کد ۰ نشان داده شده است. احتمالات انتقال شرطی برای زمان  $t+1$  خواهد بود (مثلاً فردا با چه احتمالی موج گرما وجود دارد به شرط اینکه امروز هم موج گرما وجود داشته باشد و یا با چه احتمالی فردا بدون موج گرما خواهد بود اگر امروز همراه با موج گرما باشد). بنابراین، رابطه‌های ۵ تا ۸ وجود دارند (دانیل ۱۹۸۵).

رفتار یک زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالت را می‌توان در قالب یک ماتریس احتمالات انتقال خلاصه نمود که هر یک از درایه‌های آن معرف مقدار احتمال

ستون‌های ماتریس فراوانی) است. در این آزمون، فرض صفر ( $H_0$ ) بر این ایده استوار است که سری‌ها مستقل هستند، یعنی داده‌ها از زنجیره مارکف مرتبه مورد نظر که در اینجا ۲ است، پیروی نمی‌کنند در مقابل فرض یک ( $H_1$ ) عدم استقلال داده‌ها و پیروی از زنجیره مارکف دو حالت را نشان می‌دهد (هاگلین و همکاران ۲۰۱۱) که در آن  $\chi^2$  بحرانی ( $\chi_c^2$ ) با  $(r-1)$ ،  $(c-1)$  درجه آزادی (در اینجا  $r$  و  $c$  به ترتیب تعداد سطرها و ستون‌های ماتریس است) و در سطح  $\alpha$  درصد خطا ( $\chi_{0.05, df = (c-1), (r-1)}$ ) از جدول مربوطه (زارعی ۱۳۸۳) بدست می‌آید. اگر  $\chi_0^2 > \chi_c^2$  باشد فرض صفر در سطح معنی‌داری مورد نظر رد می‌شود (زارعی ۱۳۸۳). ایستا بودن زنجیره مارکف به این مفهوم است که وقوع موج گرمایی طی دوره مورد بررسی، روند قابل ملاحظه‌ای ندارد. یعنی احتمال وقوع موج گرما در سرتاسر دوره به یک میزان است. جهت ایستا بودن زنجیره، دو آزمون گردش و آزمون علیه روند وجود دارد. ایستا بودن زنجیره مارکف، با آزمون گردش (تصادفی بودن، Run Test) توسط نرم افزار Minitab انجام شد و مشخص شد که داده‌های حداکثر دمای روزانه همگن و تصادفی هستند.

#### مدل زنجیره مارکف

با استفاده از چهار احتمال شرطی که در واقع همان عناصر ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالت (همراه با موج گرما و بدون موج گرما) می‌باشند، می‌توان به خصوصیات مهم و جالب توجهی همچون، برآورد احتمال ساده روز همراه با موج گرما یا روز بدون موج گرما، برآورد احتمال ساکن روز همراه با موج یا روز بدون موج گرما و احتمال تداوم پی‌درپی روز همراه با موج گرما یا روز بدون موج گرما دست یافت.

برآورد احتمال ساده روز همراه با موج و یا بدون موج گرما

انتقال از یک حالت در زمان قبل به حالت دیگر در زمان بعد است. فرم ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالت به صورت زیر است:

$$P = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{bmatrix} \quad [9]$$

مقادیر احتمال شرطی برای همه ایستگاه‌ها مورد مطالعه طبق رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ محاسبه شدند.

$$p_{01} = \frac{n_{01}}{n_{01} + n_{10}}, p_{00} = 1 - p_{01} \quad [10]$$

$$p_{10} = \frac{n_{10}}{n_{10} + n_{11}}, p_{11} = 1 - p_{10} \quad [11]$$

که در آن  $n_{01}$  تعداد روزهای همراه با موج گرمایی بعد از روز بدون موج گرمایی،  $n_{10}$  تعداد روزهای بدون موج گرما بعد از یک روز همراه با موج گرما و  $n_{11}$  تعداد روزهای همراه با موج گرما بعد از یک روز همراه با موج گرما هستند.

#### برآزش داده‌ها بر زنجیره مارکف مرتبه اول

پس از تعیین ماتریس احتمال انتقال، انطباق زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالت با داده‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمون کای دو یا کای اسکوار (Chi-Square Test) و معادله ۱۲ بررسی شد.

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{(N_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}} \quad [12]$$

$$e_{ij} = \frac{N_{i+} N_{+j}}{N}, i, j = 1, 2, \dots, s \quad [13]$$

که در آن  $N_{ij}$  و  $e_{ij}$  به ترتیب فراوانی‌های انتقال مشاهده شده و مورد انتظار در گذر از حالت  $i$  به  $j$  است.  $s$  تعداد حالات زنجیره است و اندیس "+" دلالت بر تمامی اندیس‌های جایگزین شده دارد (به عنوان نمونه  $N_{1+} = \sum_j N_{1j}$ ).

همچنین  $N_{i+} = N_{i0} + N_{i1}$  (مجموع هر یک از سطرهای ماتریس فراوانی) و  $N_{+j} = N_{0j} + N_{1j}$  (مجموع هر یک از



بنابراین  $p_{00} = 1 - p$  که عبارت است از احتمال وقوع یک روز بدون موج گرما مشروط بر اینکه روز قبل از آن نیز بدون موج گرما باشد،  $p_{01}$  عبارت است از احتمال وقوع یک روز با موج گرما مشروط بر اینکه روز قبل بدون موج گرما باشد،  $p_{10}$  عبارت است از احتمال وقوع یک روز بدون موج گرما مشروط بر اینکه روز قبل با موج گرما باشد و  $p_{11} = 1 - q$  عبارت است از احتمال وقوع یک روز با موج گرما مشروط بر اینکه روز قبل نیز با موج گرما باشد،  $\pi_0$  احتمال ساکن وقوع روز بدون موج و  $\pi_1$  احتمال ساکن وقوع روز همراه با موج گرمایی می‌باشد.

#### احتمال تداوم پی‌درپی

کاربرد دیگر ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکف، برآورد احتمال تداوم پی‌درپی روزهای همراه با موج گرما یا روز بدون موج گرما است. برای این منظور، احتمال تداوم دو روز پی‌درپی (پشت سر هم) همراه با موج گرما ( $W_{(2)}$ ) یا دو روز پی‌درپی (پشت سر هم) بدون موج گرما ( $C_{(2)}$ ) از معادلات ۱۸ و ۱۹ به دست می‌آید (میرموسوی و زهره‌وندی ۱۳۹۰، سرینیواساردی و همکاران ۲۰۰۸).

$$W_{(2)} = P_{W_1} \times P_{WW_2} \quad [18]$$

$$C_{(2)} = P_{C_1} \times P_{CC_2} \quad [19]$$

همچنین تداوم سه روز پی‌درپی دارای موج گرما ( $W_{(3)}$ ) یا سه روز پی‌درپی فاقد موج گرما ( $C_{(3)}$ ) از معادلات ۲۰ و ۲۱ بدست می‌آید.

$$W_{(3)} = P_{W_1} \times P_{WW_2} \times P_{WW_3} \quad [20]$$

$$C_{(3)} = P_{C_1} \times P_{CC_2} \times P_{CC_3} \quad [21]$$

که در آن‌ها  $P_{W_1}$  احتمال ساده وقوع روزهای دارای موج گرمایی در روز اول و  $P_{WW_2}$  و  $P_{WW_3}$  احتمالات شرطی وقوع روزهای دارای موج گرمایی در روزهای مابعد است. همچنین  $P_{C_1}$  احتمال ساده وقوع روزهای بدون موج گرمایی در روز اول و  $P_{CC_2}$  و  $P_{CC_3}$  احتمالات

احتمالات ساده وقوع روزهای همراه باموج و یا بدون موج گرما در هر روز، از تقسیم تعداد روزهای همراه با موج و یا فاقد موج گرما در آن روز بر تعداد سال‌های مورد مطالعه (۳۰ سال)، محاسبه می‌شوند (سرینیواساردی و همکاران ۲۰۰۸).

$$[14] \quad \text{احتمال ساده روز همراه با موج گرما}$$

$$= \frac{N_{01} + N_{11}}{30}$$

$$[15] \quad \text{احتمال ساده روز بدون موج گرما}$$

$$= \frac{N_{00} + N_{10}}{30}$$

که در آن  $N_{00}$  تعداد روز بدون موج گرمایی بعد از یک روز بدون موج گرمایی،  $N_{01}$  تعداد روز همراه با موج گرمایی بعد از روز بدون موج گرمایی،  $N_{10}$  تعداد روز بدون موج گرما بعد از یک روز همراه با موج گرما و  $N_{11}$  تعداد روز همراه با موج گرما بعد از یک روز همراه با موج گرما هستند.

#### برآورد احتمال ساکن روز همراه با موج و یا بدون موج گرما

یکی از موارد استفاده از ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکف، برآورد احتمالات ساکن وقوع روزهای همراه با موج گرما و یا روز بدون موج گرما است. احتمالات ساکن، در حقیقت، احتمالات ساده‌ای هستند که احتمال وقوع روز همراه با موج گرما یا روز بدون موج گرما را در هر دوره بیان می‌کنند. در این مطالعه، دوره‌ها یک روزه در نظر گرفته شدند. بنابراین، احتمالات ساکن بیان‌کننده احتمال وقوع روز همراه با موج گرما یا روز بدون موج گرما می‌باشند و احتمالات مذکور از معادلات ۱۶ و ۱۷ برآورد می‌شوند (ویکتور و ساستری ۱۹۷۹).

$$[16] \quad \pi_0 = \frac{q}{p + q}$$

$$[17] \quad \pi_1 = \frac{p}{p + q} = 1 - \pi_0$$

که  $p_{01} = p$  و  $p_{10} = q$  فرض شده است.



کمتر از ۵۰ درصد بود. همچنین نتایج احتمالات در دو مطالعه در سه ایستگاه مشترک تهران، گرگان و اردبیل مشابه هم بودند که احتمال شرطی  $P_{00}$  در هر ۳ ایستگاه بالای ۹۰ درصد و احتمال شرطی  $P_{11}$  کمتر از ۵۰ درصد بود. به‌طور کلی در اقلیم خشک احتمال روزهای متوالی بدون موج گرمایی از همه نوسان بیشتری داشته است.

همچنین نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق اسماعیل‌نژاد (۱۳۹۲) که شناسایی امواج گرمایی ایران طی سال‌های ۱۳۴۲ تا ۱۳۸۲ بود مقایسه گردید. طبق نتایج اسماعیل‌نژاد (۱۳۹۲) مشخص شد که در شمال و شمال غرب، مرکز ایران و سواحل جنوب رخدادهای موج گرما بیشتر بوده است. بر اساس مطالعه حاضر  $P_{11}$  در اصفهان بیشترین مقدار را دارا می‌باشد و چون اصفهان در مرکز ایران قرار دارد، مقایسه دو تحقیق نشان می‌دهد که تقریباً نتایج مشابهی از دو مطالعه به‌دست آمده است.

#### احتمال ساده و ساکن روزهای همراه با موج گرما

نتایج حاصل از میانگین احتمال ساده و ساکن روز همراه با موج گرمایی تمامی ایستگاه‌ها در جدول شماره ۳ آورده شده است. حداکثر مقدار متوسط احتمال ساده روز همراه با موج گرمایی متعلق به ایستگاه بندرعباس با مقدار ۶/۱ درصد و کمترین مربوط به ایستگاه خرم‌آباد با مقدار ۰/۲ درصد است.

به‌طور کلی احتمال وقوع روز همراه با موج گرمایی در اقلیم نیمه خشک از صفر تا ۲۳/۳۳ درصد، در اقلیم خشک از صفر تا ۲۴/۱ درصد و در اقلیم مرطوب و معتدل از صفر تا ۱۸/۲ درصد نوسان داشته است. حداکثر متوسط احتمال ساکن روز همراه با موج گرمایی مربوط به ایستگاه بندرعباس با مقدار ۲۳/۱ درصد و کمترین مقدار مربوط به ایستگاه خرم‌آباد با مقدار ۳/۳ درصد می‌باشد.

شرطی وقوع روزهای بدون موج گرمایی در روزهای دوم و سوم است.

#### نتایج و بحث

##### برآورد ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکف

همانطور که در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود، در ایستگاه اصفهان که دارای اقلیم خشک سرد می‌باشد، احتمال شرطی  $P_{11}$  (مبنی بر احتمال شرطی وقوع روز همراه با موج گرما مشروط بر اینکه روز قبل از آن نیز دارای موج گرما باشد) بیشتر از ۵۰ درصد بوده و در بقیه ایستگاه‌ها (جز زاهدان و شیراز) این احتمال کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد. در ایستگاه‌های زاهدان (اقلیم خشک معتدل) و شیراز (اقلیم نیمه خشک معتدل) این مقدار برابر ۵۰ درصد است. همچنین، کمترین مقدار احتمال، مربوط به خرم‌آباد با میزان ۲۳/۱ درصد بوده که دارای اقلیم نیمه خشک معتدل می‌باشد. مقدار احتمال  $P_{00}$  (مبنی بر احتمال شرطی وقوع یک روز بدون موج گرما مشروط بر اینکه روز قبل از آن نیز بدون موج گرما باشد) در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بزرگتر از ۹۰ درصد است. احتمال شرطی  $P_{10}$  (احتمال وقوع یک روز همراه با موج گرما مشروط بر اینکه روز قبل از آن بدون موج باشد) در همه ایستگاه‌ها به‌جز اصفهان ۵۰ یا بیشتر از ۵۰ درصد می‌باشد و احتمال شرطی  $P_{01}$  (احتمال وقوع یک روز بدون موج گرما مشروط بر اینکه روز قبل از آن همراه با موج گرما باشد) در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه کمتر از ۵۰ درصد است.

نتایج احتمالات شرطی با نتایج تحقیق فریدونی و همکاران (۲۰۱۵) که مطالعه خود را در دامنه کوه‌های شمالی و جنوبی البرز با استفاده از داده‌های سال ۱۹۸۰-۲۰۱۰ انجام داده است، مقایسه گردید. در هر دو تحقیق، مقدار احتمال شرطی  $P_{00}$  در اکثر ایستگاه‌ها بیشترین مقدار و احتمال شرطی  $P_{11}$  در اکثر ایستگاه‌ها

جدول ۲- ماتریس‌های درصد احتمال انتقال زنجیره مارکف مرتبه اول در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ایستگاه	P <sub>11</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>01</sub>	P <sub>00</sub>
اردبیل	۳۷/۶	۶۲/۴	۳/۲	۹۶/۸
اصفهان	۵۳/۲	۴۶/۸	۰/۷	۹۹/۳
اهواز	۲۳/۵	۷۶/۵	۰/۲	۹۹/۸
بندرعباس	۴۸/۸	۵۱/۲	۳/۳	۹۶/۷
تبریز	۴۸/۲	۵۱/۸	۰/۸	۹۹/۲
تهران	۴۸/۹	۵۱/۱	۰/۹	۹۹/۱
خرم‌آباد	۲۳/۱	۷۶/۹	۰/۲	۹۹/۸
زاهدان	۵۰	۵۰	۱/۵	۹۸/۵
زنجان	۴۶/۶	۵۳/۴	۱	۹۹
ساری	۲۸/۲	۷۱/۸	۱/۴	۹۸/۶
شیراز	۵۰	۵۰	۰/۲	۹۹/۸
کرمان	۴۸/۹	۵۱/۱	۰/۹	۹۹/۱
گرگان	۳۰/۲	۶۹/۸	۱/۶	۹۸/۴
مشهد	۴۰/۵	۵۹/۵	۰/۸	۹۹/۲
همدان	۳۵/۹	۶۴/۱	۰/۵	۹۹/۵
یاسوج	۳۸/۲	۶۱/۸	۰/۵	۹۹/۵

### نتایج احتمالاتی تداوم پی‌درپی روزهای همراه با موج گرمایی

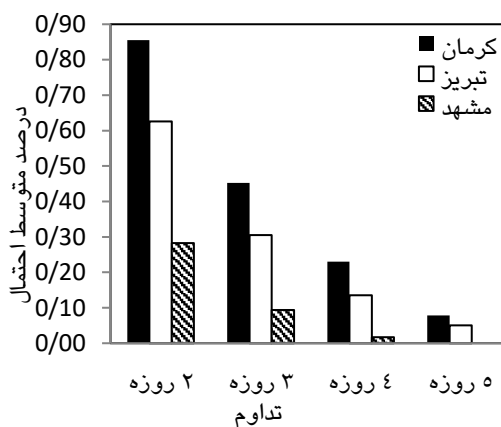
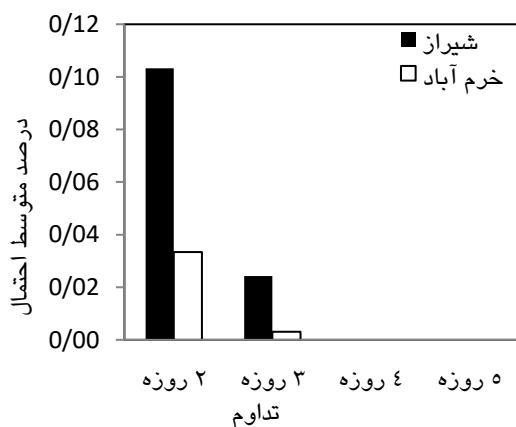
ایستگاه اهواز با مقدار ۰/۰۲ درصد کمترین درصد متوسط احتمال تداوم پی‌درپی را دارد. در اقلیم نیمه خشک (ایستگاه‌های کرمان، مشهد، تبریز، خرم‌آباد، شیراز، زنجان، اردبیل و همدان) ایستگاه اردبیل دارای بیشترین مقدار با درصد متوسط احتمال تداوم‌های پی-درپی ۲ تا ۵ روزه است که مقدار آن به ترتیب، ۱/۸، ۰/۹۳، ۰/۳۲ و ۰/۱۶ درصد می‌باشد و ایستگاه خرم‌آباد کمترین مقدار درصد متوسط احتمال تداوم‌های پی‌درپی ۲ روزه با مقدار ۰/۰۳ درصد را دارد. در اقلیم مرطوب و معتدل (ایستگاه‌های گرگان، یاسوج و ساری) ایستگاه گرگان دارای بیشترین مقدار درصد میانگین احتمال تداوم‌های پی‌درپی ۲ تا ۵ روزه است که مقدار آن به-ترتیب برابر ۰/۵۱، ۰/۱۸، ۰/۰۰۶ و ۰/۰۳ درصد است. در کل با مقایسه اقلیم‌های مختلف مشاهده شد که در اقلیم خشک مقدار تداوم‌ها بیشتر است. ایستگاه‌های

نتایج درصد میانگین تداوم‌های پی‌درپی روزهای همراه با موج گرمایی در شکل‌های ۱ تا ۶ نشان داده شده است. در تمامی ایستگاه‌ها، درصد میانگین احتمال تداوم ۲ روزه بیشتر است و روندی کاهشی از درصد میانگین احتمال تداوم ۲ روزه تا ۵ روزه مشاهده می-شود. درصد متوسط احتمال تداوم پی‌درپی ۲ روزه در ایستگاه‌های بندرعباس، اردبیل و زاهدان به ترتیب، برابر ۲/۹۱، ۱/۸ و ۱/۳۳ درصد می‌باشد. در اقلیم خشک (ایستگاه‌های اصفهان، تهران، زاهدان، بندرعباس و اهواز) ایستگاه بندرعباس دارای بیشترین مقدار می-باشد، که درصد متوسط احتمال تداوم‌های پی‌درپی ۲ تا ۵ روزه آن ایستگاه به ترتیب، ۲/۹۱، ۱/۴۰، ۰/۶۷ و ۰/۳۱ می‌باشد.

اهواز، ساری و خرم‌آباد فقط دارای تداوم ۲ روزه می- باشند. مقایسه نتایج احتمال تداوم پی‌درپی با نتایج مطالعه اسماعیل‌نژاد (۱۳۹۲) که در سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۲ در تمام ایران انجام داده است نشان داد که در هردو تحقیق احتمال وقوع امواج گرمایی دو روزه پرخدادترین امواج بوده است.

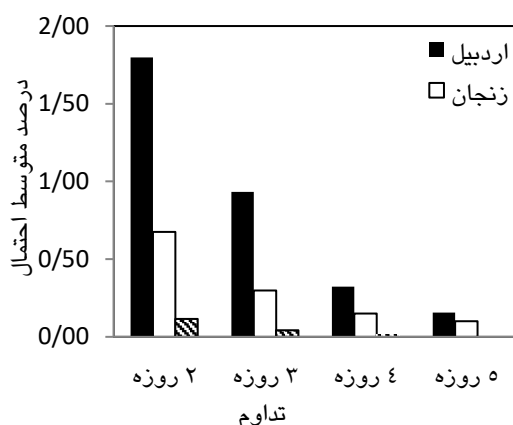
جدول ۳- نتایج محاسبات متوسط درصداحتمالات ساده و ساکن روز همراه با موج گرمایی.

ایستگاه	احتمال ساده روز با موج		میانگین احتمال ساکن روز همراه با موج
	میانگین	نوسان میانگین	
اردبیل	۴/۸	۰-۲۳/۳	۲۱/۴
اصفهان	۱/۴	۰-۲۰	۹/۳
اهواز	۰/۳	۰-۶/۷	۶
بندرعباس	۶/۱	۰-۲۴/۱	۲۳/۱
تبریز	۱/۵	۰-۱۶/۷	۹
تهران	۱/۷	۰-۱۷/۸	۸/۸
خرم‌آباد	۰/۲	۰-۱۰	۳/۳
زاهدان	۲/۹	۰-۱۷/۲	۱۲/۴
زنجان	۱/۹	۰-۲۰	۱۲/۲
ساری	۱/۹	۰-۱۸/۲	۱۱/۳
شیراز	۰/۴	۰-۱۰	۳/۴
کرمان	۱/۸	۰-۱۷/۲	۸/۶
گرگان	۲/۳	۰-۱۳/۳	۱۷/۵
مشهد	۱/۴	۰-۱۰/۳	۱۳/۵
همدان	۰/۷	۰-۱۳/۳	۷/۳
یاسوج	۰/۸	۰-۱۲/۵	۶/۷

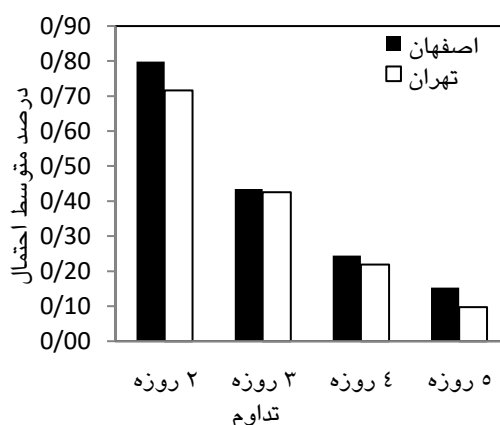


شکل ۲- درصد متوسط احتمال نظیر موج‌های گرمایی با تداوم‌های مختلف در ایستگاه‌های کرمان، تبریز و مشهد.

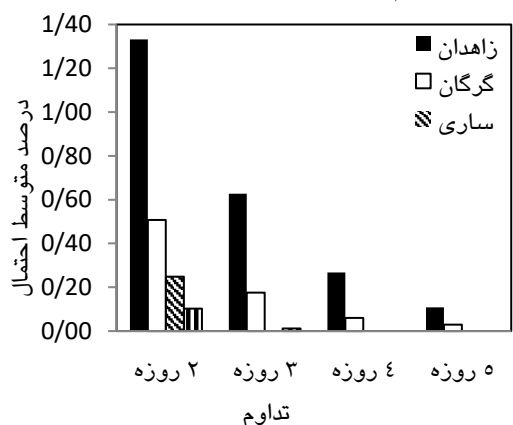
شکل ۱- درصد متوسط احتمال نظیر موج‌های گرمایی با تداوم‌های مختلف در ایستگاه‌های شیراز و خرم‌آباد



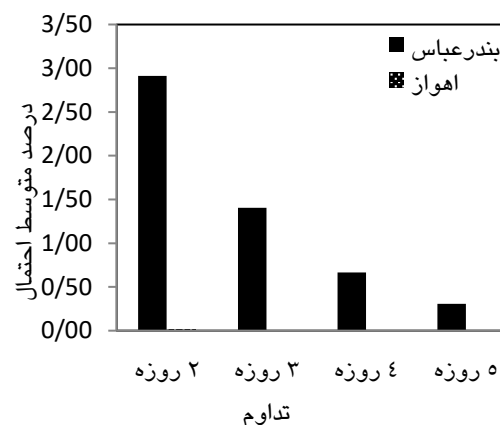
شکل ۴- درصد متوسط احتمال نظیر موج‌های گرمایی با تداوم‌های مختلف در ایستگاه‌های اصفهان و تهران.



شکل ۳- درصد متوسط احتمال نظیر موج‌های گرمایی با تداوم‌های مختلف در ایستگاه‌های اردبیل، زنجان و همدان.



شکل ۶- درصد متوسط احتمال نظیر موج‌های گرمایی با تداوم‌های مختلف در ایستگاه‌های بندرعباس و اهواز.



شکل ۵- درصد متوسط احتمال نظیر موج‌های گرمایی با تداوم‌های مختلف در ایستگاه‌های زاهدان، گرگان، ساری و یاسوج.

### نتیجه‌گیری کلی

گرمایی می‌تواند باعث وزش باد گرم، شیوع بیماری، آتش سوزی جنگل‌ها و نابودی آن‌ها، آسیب به حیوانات و صدمه به محصولات کشاورزی باشد. این مطالعه، برای مسائل کشاورزی مانند دوره‌های آبیاری محصولات زراعی، همچنین سلامت انسان و برنامه‌ریزی در جهات مختلف مفید است. با مقایسه احتمال تداوم پی‌درپی روزهای همراه با موج گرمایی مشخص شد که ایستگاه بندرعباس دارای بیشترین مقدار درصد متوسط احتمال تداوم‌های پی‌درپی ۲ تا ۵ روزه است که مقدار آن به ترتیب، ۲/۹۱، ۱/۴۰، ۰/۶۷ و ۰/۳۱ درصد می‌باشد و ایستگاه اهواز دارای کمترین

در این مطالعه، برای بررسی موج گرمایی، از داده‌های روزانه حداکثر دما در ۱۶ ایستگاه سینوپتیک کشور با ۱۰ اقلیم متفاوت استفاده گردید. در تمام ایستگاه‌ها افزایش روند دما از ماه فروردین شروع می‌شود، در ماه تیر به حداکثر مقدار می‌رسد و در ماه مرداد و شهریور کاهش می‌یابد. از نتایج وقوع تداوم روزهای پی‌درپی موج گرمایی می‌توان برای برنامه‌ریزی کشاورزی با این هدف که روزهای پی‌درپی امواج گرمایی به آبیاری و حفاظت رطوبت خاک نیاز دارند، استفاده کرد. چون با وجود امواج گرمایی در هر منطقه تبخیر و تعرق نیز افزایش می‌یابد. همچنین امواج

حاضر،  $P_{11}$  در اصفهان بیشترین مقدار را دارا می‌باشد و چون اصفهان در مرکز ایران قرار دارد، مقایسه دو تحقیق نشان می‌دهد که نتایج به‌دست آمده از دو مطالعه مشابه است. مقایسه نتایج احتمال تداوم پی‌درپی با نتایج مطالعه اسماعیل‌نژاد (۱۳۹۲) که در سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۲ در تمام ایران صورت گرفته است نشان داد که در هر دو تحقیق احتمال وقوع امواج گرمایی دو روزه پررخدادترین امواج بوده است. همچنین مقایسه نتایج این تحقیق با یافته‌های قاسمی‌فر و ناصرپور (۱۳۹۵) که در زمینه تحلیل هم‌دید امواج گرما و سرما در سواحل جنوبی دریای خزر انجام داده‌اند، نشان داد که در ایستگاه مشترک گرگان امواج گرمایی کمترین فراوانی را داشته است. طبق مقایسه نتایج تحقیق اعتمادیان و دوستان (۱۳۹۵) که تحلیل فضایی امواج گرمایی ایران طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ انجام داده‌اند با نتایج این تحقیق مشخص گردید، ایستگاه اصفهان و شیراز در مرکز ایران دارای بیشترین موج گرمایی می‌باشند و ایستگاه گرگان در شمال ایران کمترین موج گرما را تجربه کرده‌است.

مقدار درصد متوسط احتمال تداوم‌های پی‌درپی ۲ روزه برابر ۰/۰۲ درصد و ۳ تا ۵ روزه برابر صفر می‌باشد. نتایج احتمالات شرطی با نتایج تحقیق فریدونی و همکاران (۲۰۱۵) که در در دامنه کوه‌های شمالی و جنوبی البرز با استفاده از داده‌های سال ۲۰۱۰-۱۹۸۰ انجام شده، مقایسه گردید. در هر دو مطالعه، مقدار احتمال شرطی  $P_{00}$  در اکثر ایستگاه‌ها بیشترین مقدار و احتمال شرطی  $P_{11}$  در اکثر ایستگاه‌ها کمتر از ۵۰ درصد بود. همچنین نتایج احتمالات در دو مطالعه در سه ایستگاه مشترک تهران، گرگان و اردبیل مشابه هم بودند که احتمال شرطی  $P_{00}$  در هر ۳ ایستگاه بالای ۹۰ درصد و احتمال شرطی  $P_{11}$  کمتر از ۵۰ درصد بود. به‌طور کلی، در اقلیم خشک احتمال روزهای متوالی بدون موج گرمایی از همه نوسان بیشتری داشته است. همچنین، نتایج این تحقیق با یافته‌های اسماعیل‌نژاد (۱۳۹۲) که در زمینه شناسایی امواج گرمایی ایران طی سال‌های ۱۳۴۲ تا ۱۳۸۲ انجام داده است، مقایسه گردید. طبق نتایج اسماعیل‌نژاد (۱۳۹۲) مشخص شد که در شمال و شمال غرب، مرکز ایران و سواحل جنوب رخدادهای موج گرما بیشتر بوده است. بر اساس مطالعه

#### منابع مورد استفاده

- Ababaei B, Sohrabi TM and Mirzaei F, 2015. Developing a weather generator model to preserve spatial correlations between neighboring stations. *Journal of Water and Soil Science- University of Tabriz* 25(1): 181-192 (In Persian).
- Ahmadi F, Radmanesh f And Mirabbasi Najaf Abadi R, 2015. Trend analysis of the average temperature in southern half of Iran during the recent four decades. *Water and Soil Science- University of Tabriz* 25(3): 211-226 (In Persian).
- Anonymous, 2007. *Natural Hazard Statistics*. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), U.S. Department of Commerce.
- Arshaghi A, 1999. *Schaum's Outline of Theory and Problems of Probability* (translation). Ney Publications, Tehran (In Persian).
- Ashofteh PS and Massah AR, 2009. Impact of Climate Change Uncertainty on Temperature and Precipitation of Aidoghmo ush Basin in 2040-2069 Period. *Water and Soil Science- University of Tabriz* 19 (2): 85-98 (In Persian).
- Azizi GH, 2004. *Climate Change*. Gomes publishing, Tehran, Iran (In Persian).
- Baldi M, Pasqui M, Cesarone F and De Chiara G, 2004. Heat waves in the Mediterranean region: analysis and model results. Pp.9-13. In 16th Conference on Climate Variability and Chang. 12 Jan, Rome, Italy.

- Colacino M and Conte M, 1994. Heat waves in the central Mediterranean. *Il Nuovo Cimento C* 18(3): 295-304.
- Daniel S, 1985. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Dep of soil, Crop and Atmospheric Sciences, Cornell Univ, New Yourk. 453 P.
- Darand M, 2014. Identification and analysis of the temporal- spatial distribution of heat waves in Iran. *Journal of Geography and Development* 35: 162-18 (In Persian).
- Díaz J, Carmona R, Mirón IJ, Ortiz C, León I and Linares C, 2015. Geographical variation in relative risks associated with heat: Update of Spain's Heat Wave Prevention Plan. *Environment International* 85: 273-281.
- Díaz J, Linares C and Tobías A, 2006. A critical comment on heat wave response plans. *The European Journal of Public Health* 16(6): 600.
- Esmailnejad M, Khosravi M, Alijani B, Massoudian SA, 2014. Identifying heat waves of Iran and Its relationship with synoptic patterns. *Journal of Geography and Development* 33: 39-54 (In Persian).
- Etemadian E and Doostan R, 2017. Spatial analysis of Iran's thermal waves. *Journal of Spatial Analysis environmental Hazarts* 1(4): 17-32 (In Persian).
- Freidoomi F, Ataei H and Shahriar F, 2015. Estimating the occurrence probability of heat wave periods using the Markov Chain Model. *Journal of Sustainable Development* 8(2): 26-45.
- Ghasemifar E and Naserpour S, 2016. Synoptic analysis of heat and cold waves over southern coastal of Caspian Sea. *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)* 26 (103):137-146 (In Persian).
- Hoaglin DC, Mosteller F and Tukey JW, 2011. *Exploring Data Table, Trends, and Shapes*, John Wiley & Sons .Inc, U.S.A: 538 p.
- Khalili A, 1997. *Integrated Water Plan of Iran*. Meteorological Studies. Ministry of Power. Iran.
- Marofi S, Saghaei S, Ershadfath F and Khatar B, 2014. Evaluating Time Series Models to Estimate Monthly Temperature of Iran's Old Synoptic Stations During 1977-2005. *Water and Soil Science- University of Tabriz* 24(4): 215-226 (In Persian).
- Martínez PF, Bandala ER and Patiño-Gómez C, 2015. Temperature and heat wave trends in northwest Mexico. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 91:20-26.
- Mirmosavi SH, Zohrevandi H, 2013. Analysis of weekly rainfall in Hamedan province in order to assesment the probability frequency of dry and wet weeks. *Journal of Geographic Space* 42: 149-167(In Persian).
- Robinson P, 2001. On the definition of a heat wave. *Journal of Applied Meteorology* 40(4): 762-775.
- Schar C, Vidale PL, Luthi D, Frei C, Haberli C, Liniger M and Appenzeller C, 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heat waves. *Nature* 427(6972): 332-336.
- Srinivasareddy GV, Bhaskar SR, Purohit RC and Chittora AK, 2008. Markov chain model probability of dry, wet weeks and statistical analysis of weekly rainfall for agricultural planning at Bangalore. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 21(1):12-16.
- Victor US and Sastry PSN, 1979. Dry spell probability by Markov chain model and its application to crop development stage. *Mausam* 30(4): 479-484.
- Yazdanpanah H, Alizadeh T, 2012. Estimating the probability of different duration heat waves occurrence in Kerman, Province using Markov chain. *Journal of Geographical Research* 3(102): 72-51(In Persian).
- Zarei A, 2004. *Engineering Statistics*. First Edition, Publication of Danesh parvar, Tehran, Iran 783p(In Persian).