

## واکاوی رفتار و تغییرات بسامد رخداد امواج گرمایی شهر اهواز

\*فائقه الماسی<sup>۱</sup>، تقی طاوسی<sup>۲</sup>، نسرين حسين آبادی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

<sup>۲</sup>استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

<sup>۳</sup>دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۲۵

### چکیده

هدف این پژوهش، واکاوی موج‌های گرمایی شهر اهواز است. بدین منظور داده‌های دمای بیشینه روزانه ایستگاه اهواز در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۴۰ (۱۷۱۶۶ روز) فراهم گردید. ابتدا بر اساس ماتریس استاندارد شده داده‌ها و به کمک نمایه فومیایی، ماتریس انحراف دمای بهنجار شده اهواز (NTD) تهیه گردید. برای شناسایی موج‌های گرمایی با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط متلب روزهایی را که گرما دست‌کم ۳ روز تداوم داشت و دمای آن ۲+ انحراف معیار بالاتر از میانگین (NTD) بود، به‌عنوان موج گرما تعریف شد. بدین ترتیب ۸۷ موج ۳ تا ۱۴ روزه شناسایی و دسته‌بندی گردید؛ در نهایت، تداوم امواج گرمایی شهر اهواز بر اساس قوانین احتمالی به صورت فرایندهای تصادفی و با استفاده از تکنیک زنجیره مارکوف مورد تحلیل قرار گرفت؛ نتایج نشان داد که امواج گرمایی کوتاه‌مدت بسامد رخداد بیشتری داشته با افزایش طول تداوم‌های امواج گرمایی، رخدادها کاهش می‌یابد. بیشترین بسامد امواج گرمایی، ابتدای زمستان و ابتدای پاییز بوده است. علاوه بر این بالاترین تداوم‌ها مربوط به فصل زمستان می‌باشد. میانگین تعداد روزهای امواج گرمایی اهواز ۹ روز بوده بالاترین تعداد روزهای امواج گرما با ۳۸ روز در سال ۱۳۷۷ دیده شده است. نتایج حاصل از ماتریس احتمال تغییر وضعیت براساس روش درست‌نمایی بیشینه، با توان‌های مکرر احتمال پایا هر یک از دو حالت وجود موج گرما - عدم وجود موج گرما نشان داد که فصل زمستان بیشترین احتمال وقوع امواج گرمایی را دارد. نتایج واکاوی دوره بازگشت امواج گرمایی با تداوم ۳ تا ۱۴ روز نیز نشان داد فصل زمستان و فصل تابستان به ترتیب کوتاه‌ترین و طولانی‌ترین دوره بازگشت را داشته‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** امواج گرما، نمایه فومیایی، زنجیره مارکوف، اهواز

### مقدمه

رخدادهای فرین به دنبال دارند اهمیت پژوهش در این باره بر همگان آشکار است. پژوهشگران بر این باورند که در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی منجر به افزایش بسامد و تداوم امواج گرمایی در نقاط مختلف جهان شده است. به‌عنوان مثال می‌توان به موج گرمایی ۱۹۹۵ ایالات متحده آمریکا، ۲۰۰۳ اروپا و ۲۰۱۰ روسیه اشاره داشت. امواج گرما به‌علت تأثیر معنادار بر اکوسیستم‌ها و جوامع انسانی در قرن بیستم مورد توجه خاص قرار گرفته‌اند؛ بر این اساس بررسی اثرات مضر موج‌های گرمایی بر سلامت انسان‌ها در شش منطقه کالیفرنیا نشان داد که آستانه دمایی موج‌های گرمایی مؤثر در مناطق و فصول

امواج گرما یکی از زیان‌بارترین رخدادهای فرین جوی می‌باشد. اغلب موج گرما با استانداردهای متفاوت و بدون تعریفی جهانی توصیف می‌شود (دینگ و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۴۵۳) و برخلاف تأثیرات ناسازگار، تعریف و اندازه‌گیری موج گرما، مبهم، متناقض و یا مخصوص آنالیز گزارش‌های مطالعاتی است (پرکینز و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۵۰۱). به‌طور کلی موج گرما به‌عنوان تداوم غیرمعمول و استثنائی هوای گرم تعریف شده است. با توجه به پیامدهای زیست‌محیطی بسیار ناگوار و اثرات جانبی فراوانی که تداوم این‌گونه

(۲۰۰۷-۱۹۹۸) نیز نتایج کارهای گذشته را تأیید می‌کند (کاری ۱۳۸۹). تحلیل همدید گرمای فرین استان اصفهان در اسفند ۱۳۸۲ با استفاده از شاخص فومیکی نشان داد که عامل رویداد فرین گرم در سال ۸۲ شکل‌گیری فرود عمیق در بادهای غربی و کشیده شدن آن به سودان و عربستان بوده که هوای گرم عرض‌های پایین را به طرف ایران هدایت کرده است (منتظری و مهدیه، ۱۳۹۰: ۳۲). نتایج برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی برای استان کرمان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف نشان داد که بیشترین رخداد امواج گرمایی در ماه آوریل و می بوده و این تغییرات روندی افزایشی در طول دوره آماری داشته است (یزدان‌پناه و علیزاده، ۱۳۹۰: ۵۲). امواج گرمایی حادث شده در کرمانشاه با استفاده از تحلیل ناپارامتری من - کندال<sup>۱</sup> نیز بررسی شدند (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۷). همچنین تحلیل موج‌های گرمایی ایران با استفاده از شاخص فومیکی مشخص کرد که موج‌های بلندمدت کم‌رخدادتر از موج‌های کوتاه‌مدت است؛ پایان زمستان و روزهای نخستین پاییز موج‌های گرمایی بیشتر و فراوان‌تر می‌باشد؛ همچنین در شمال و شمال غرب، مرکز ایران و سواحل جنوب رخداد موج گرمای بیشتر و روند افزایشی امواج گرم در دوره آماری تأیید شده است (اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۹). در مطالعات آماری-سینوپتیکی امواج گرمای تأثیر حضور پرفشار آزر در تراز ۵۰۰ میلی‌بار و کم‌فشار گنگ-خلیج فارس در سطح زمین (چراغی، ۱۳۹۱: ۱۳۵) و تأثیر فرارفت هوای گرم عربستان (هدایتی‌زاده، ۱۳۹۲)، (بهاروند، ۱۳۹۲: ۱۶)، (سپه‌وند، ۱۳۹۳: ۱۹۶) تأکید شده است. همچنین بررسی رفتار مکانی امواج گرمای در استان سیستان و بلوچستان نشان داد که امواج گرمای در این نواحی دارای توزیع خوشه‌ای است و از نظر مکانی معنی‌دار می‌باشد (اسمعیل‌نژاد، ۱۳۹۲: ۲۱۱). بررسی امواج گرمایی استان کردستان نشان داد که بسامد رخداد، شدت و دوام امواج گرمای بر مناطق پست و کم‌ارتفاع استان واقع در غرب و شرق

مختلف تفاوت بسیاری دارد (گورگوس و همکاران، ۲۰۱۴: ۳). در حال حاضر پدیده‌های حدی اقلیم در کانون توجه پژوهشگران قرار دارند؛ کاهش پیامدهای ناشی از امواج گرمایی مرهون شناسایی عوامل ایجادکننده امواج و شناسایی رفتارهای اقلیمی امواج گرما است. پیش‌بینی و برآورد احتمالات رخداد امواج گرما می‌تواند به عنوان یک سیستم هشداردهنده کارآمد در کاهش این اثرات ویرانگر و ضررهای اقتصادی هنگفت ناشی از اثرات سوء آن بسیار مفید باشد. همچنین جهت برنامه‌ریزی میان‌مدت و بلندمدت اکوسیستم‌های انسانی و زیستی همسو و هم‌جهت با وضعیت آب و هوایی نقش قابل توجه و تعیین‌کننده‌ای دارد. پژوهش‌های بسیاری بر امواج گرما در سراسر مناطق جهان انجام شده است. کوان و همکارانش در سال ۲۰۱۴ با مدل‌های اقلیمی به‌کار گرفته در استرالیا نشان دادند که فراوانی و دوره تداوم موج‌های گرمایی زمستانه نسبت به موج‌های گرمایی تابستانه بیشتر خواهد بود؛ همچنین در اواخر قرن بیست و یکم، میزان ناهنجاری‌های دمایی گرم‌ترین رخدادهای در هر دو فصل تابستان و زمستان افزایش قابل ملاحظه‌ای خواهند داشت (کوان و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۸۵۷). از آنجا که روزهای گرم نیمکره شمالی به میزان ۲/۱۸ روز / دهه طی سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۴۸ افزایش یافته است (فنگ و همکاران، ۲۰۰۸: ۷۰). مطالعات فراوان صورت گرفته در زمینه تغییرات دما از جمله شیب مثبت دما و افزایش فرین‌های دمایی (محمدی و تقوی، ۱۳۸۴: ۱۵۹)، افزایش دمای متوسط کشور در اکثر ایستگاه‌ها (شیرغلامی و قهرمان، ۱۳۸۴: ۹)، تغییرات زیاد مقادیر حداکثر دما در تمام نواحی ایران زمین (جهانبخش و ترابی، ۱۳۸۳: ۱۸) و نیز افزایش دمای ایران در دوره آینده به ویژه در فصل سرد به میزان ۰/۵ سلسیوس (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۰)، همگی تأیید می‌کنند که روند دما در اکثر نقاط ایران دستخوش تغییرات فراوانی شده است و این تغییر دما بالطبع در روند رخدادهای فرین دما و امواج گرما دخالت مستقیم دارد. افزایش معناداری امواج گرمایی شهر تهران در دهه اخیر

1. Mann Kendall

$$\overline{T(i,j)} = \sum_{n=1}^{1386} T(i,j,n) \div N \quad i = 1,2,3,\dots,12 \quad j = 1,2,3,\dots,365 \quad N = 47$$

در اینجا:  $T(i,j,n)$  دمای روز  $j$  ام از ماه  $i$  در سال  $n$  و  $\overline{T(i,j)}$  میانگین بلند مدت دمای روز  $j$  ام از ماه  $i$  می‌باشد. بدین ترتیب میانگین بلند مدت دمای هر روز بر مبنای همان روز محاسبه گردید. برای از بین بردن نوفه‌های موجود در میانگین بلند مدت، فیلتر میانگین متحرک ۹ روزه سه بار بر روی این داده‌ها انجام شد. به این ترتیب میانگین بلند مدت دمای هر روز بر مبنای دمای همان روز و ۲۹ روز همسایه آن محاسبه گردید. به بیان دیگر دمای هر روز نماینده وضع کلی دما در همان روز و دمای دو هفته پیش و دو هفته پس از آن است. در نتیجه آثار عوامل زودگذر محلی که موجب نوسان دما شده‌اند، حذف و اثرات سامانه‌های همدید که تغییرات کلان دما را تعیین می‌کنند، تقویت می‌شوند. سپس به کمک رابطه زیر انحراف دمای هر یک از ۱۷۱۶۶ روز بررسی و نسبت به میانگین بلند مدت محاسبه گردید.

رابطه ۲:

$$\Delta T(i,j,n) = T(i,j,n) - \overline{T(i,j)}$$

رابطه ۳:

$$\sigma^2(i,j) = \sum_{n=1}^{1386} \sum_{j=j-15}^{j+15} [\Delta T(i,j',n) - \overline{\Delta T(i,j')}]^2 \div 31N$$

$\Delta T(i,j,n)$  انحراف مطلق دما از میانگین بلند مدت در روز  $j$  ام از ماه  $i$  در سال  $n$  ام نسبت به میانگین بلند مدت دمای همان روز تقویمی است.

شدت انحراف دما بستگی به تغییرات روز به روز دما دارد و بر حسب فصل و منطقه متفاوت خواهد بود. از آنجا که بر روی هر نقطه جغرافیایی معین دامنه تغییرات دما در روزهای مختلف سال می‌تواند بسیار متفاوت باشد، بنابراین مقادیر مطلق انحراف دما از میانگین بلند مدت هر روز نمی‌تواند نماینده شدت انحراف دمای آن روز نسبت به دیگر روزهای سال باشد. برای نمونه در دوره گرم سال که دما از ثبات بیشتری برخوردار است یک درجه سلسیوس انحراف از دمای بلند مدت رویداد بزرگ‌تری به شمار می‌آید تا همین مقدار انحراف دما در دوره سرد سال که دما بی ثبات‌تر و دامنه تغییرات آن زیادتر است. همین

استان، افزایش یافته لیکن بر بلندی‌های استان که شامل مناطق مرکزی و شمالی بوده، کاهش داشته است (دارند، ۱۳۹۲: ۲۳۱). در این پژوهش، برای بررسی تغییرات رفتاری، بسامد و احتمالات رخدادهای امواج گرمایی اهواز از مدل زنجیره مارکوف استفاده شده است. تئوری زنجیره مارکوف مانند ابزار ریاضی احتمالات مربوط به فرایندهای وابسته را بسیار ساده یا ممکن نموده است. در علوم مرتبط با جو از جمله در زمینه اقلیم، به کمک مدل زنجیره مارکوف، تحقیقات بسیاری انجام شده است (سونادرا و جواندرز، ۲۰۱۵؛ عساکره و مازینی، ۱۳۸۹؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۸۹).

### روش‌شناسی تحقیق

در این تحقیق داده‌های دمای بیشینه روزانه در ایستگاه اهواز از ۱۳۴۰/۰۱/۰۱ تا ۱۳۸۶/۱۲/۲۹ گردآوری شده است. این پایگاه داده، شامل ۱۷۱۶۶ روز دیده‌بانی است. به این ترتیب سری زمانی دمای بیشینه طی ۴۷ سال گذشته برآورد و روش‌شناسی این پژوهش در دو مرحله پیگیری شده است. در گام اول برای شناسایی امواج گرما، از نمایه فومیایکی (NTD)<sup>۲</sup> استفاده گردید. ابتدا با استفاده از این نمایه، دماهای فرین گرم شناسایی و پس از آن تداوم‌های روزهای فرین گرم برآورد شده است. در گام بعد، میانگین بلند مدت دما برای هر یک از روزهای سال محاسبه شده تا انحراف دمای هر روز خاص نسبت به میانگین بلند مدت مبنای داوری درباره گرمی آن روز قرار گیرد. با توجه به این که فراوانی روز ۳۰ اسفند یک چهارم هر یک از دیگر روزهای سال است و به همین سبب مقایسه میانگین این روز با میانگین دیگر روزهای سال ناموجه به نظر می‌رسد و میانگین بلند مدت روز ۳۰ اسفند از اعتبار کمتری برخوردار خواهد بود؛ بنابراین میانگین روز ۲۹ اسفند و اول فروردین جایگزین می‌شود. میانگین بلند مدت دماهای هر روز از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد.

1. Sonnadara and Jayewardence
2. Normal Temperature Deviance

$$\text{رابطه ۷. } I = 3, 4, 5, \dots, 14$$

$$\frac{HW_{(i)}}{\sum_{k=3}^{14} HW_{(i,k)}} - HWCP(I) = x$$

در اینجا:  $HW_{(i)}$  فراوانی روزها یا امواج گرمایی با تداوم  $I$  است. بنابراین دوام‌های روزانه امواج گرمایی ایستگاه اهواز برآورد گردید. الگوهای توزیع سالانه، فصلی، ماهانه و شدت و فراوانی رخدادها امواج نیز مورد کنکاش قرار گرفت. در گام دوم جهت نشان دادن احتمال رخداد، دوره تداوم و همچنین دوره بازگشت امواج گرمایی شناسایی شده، از زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالت استفاده شده است. امواج گرمایی سه روزه بیشینه روزهای امواج گرمایی را تشکیل می‌دهند که مهم‌ترین تداوم محسوب می‌شوند بنابراین، در این تحقیق بررسی امواج گرمایی سه روزه اهواز مد نظر قرار گرفته است.

#### مدل بندی زنجیره مارکوف

مدل زنجیره مارکوف یک تکنیک ریاضی برای مدل سازی پدیده‌های تصادفی است که توالی مشاهدات را در طول زمان نشان می‌دهد. وابستگی این زنجیره به زمان، یا از طریق ضرایب همبستگی سری یا با استفاده از ماتریس احتمال انتقال بیان می‌شود (آشگر طوسی و همکاران، ۱۳۸۲: ۷۴). در واقع ساختار این مدل بیانگر حالت‌ها و احتمال‌های انتقال یک پدیده از یک حالت به حالت دیگر و همچنین ویژگی‌ها، فراوانی و احتمال وقوع آن پدیده است. در تعیین حالت سیستم باید دو عامل را مشخص کرد: الف: حالت سیستم در زمان مشخص و ب: احتمال تغییر حالت خاص به حالت‌های ممکن دیگر که اصطلاحاً احتمال گذار نامیده می‌شود (مؤمنی، ۱۳۷۴: ۱۲). توانایی این مدل در برآورد دوره‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف (ساعت، روز، هفته، ماه و سال) و در مکان‌های مختلف بستگی به ویژگی آن پدیده در مکان معین دارد (مهرتروا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۴۲). فرض کنید  $(X_t, t=0, 1, 2, \dots)$  فرایندی تصادفی است که در آن  $X_t$  می‌تواند هر مقدار متناهی یا شماره

استدلال در مورد مقادیر مطلق انحراف دما از میانگین بلند مدت که در نقاط جغرافیایی مختلف محاسبه شده‌اند نیز صادق است. بنابراین برای آن که مقادیر انحراف دمای زمان‌های مختلف در یک نقطه جغرافیایی و مکان‌های مختلف در یک زمان معین با یکدیگر قابل مقایسه باشند لازم است این مقادیر مطلق انحراف دما به کمک پراش دما استانداردسازی شوند. تغییرات روز به روز برای هر روز تقویمی طبق رابطه ۳ به دست آمد. سپس میانگین متحرک ۹ روزه سه بار انجام شد. مقدار  $\overline{\Delta T(i, j)}$  میانگین انحراف دما روی کرنل ۳۱ روزه است و از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\text{رابطه ۴. } \overline{\Delta T_*(i, j)} = \sum_{i=1340}^{1386} \sum_{j=-15}^{j+15} \Delta T_*(i, j, n) \div 31N$$

سرانجام نمایه انحراف دمای بهنجار شده ( $NTD$ ) از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{رابطه ۵. } x(i, j, n) = \Delta T(i, j, n) \div \overline{\sigma(i, j)}$$

که  $\overline{\sigma(i, j)} = \sqrt{\sigma^2(i, j)}$  می‌باشد (فوجیبه<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۳).

بر این اساس نمایه دمای بهنجار شده، برای هر یک از ۱۷۱۶۶ روز محاسبه گردید. سپس روزهایی که نمایه  $NTD$  آن‌ها بالاتر از ۲+ بود به عنوان روزهای حدی گرم مشخص شدند و موج گرمایی چنین تعریف شد: دمای بهنجار شده ( $NTD$ ) روز  $i$  ام ۲ انحراف معیار بالاتر از میانگین باشد و دوام آن ۳ روز و یا بیشتر باشد. بدین ترتیب دوام موج گرمایی، تعداد روزهای پیاپی با نمایه دمای بهنجار شده ( $NTD$ ) بالاتر از ۲ در نظر گرفته شد. براساس این شرط، تداوم امواج گرمایی ایستگاه اهواز برآورد شده است.

رابطه ۶.

$$NTD(i), NTD(i+1), \dots, NTD(i+p-1) > 2$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 17166 \quad p = 3, 4, 5, \dots, 14$$

آنگاه سهم هر یک از تداوم‌های امواج گرمایی در تأمین روزهای گرم از طریق رابطه (۷) محاسبه شد.

پیروی نمی‌کنند (هاگلین<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۶). آماره آزمون به شرح زیر است:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad \text{رابطه ۹.}$$

( $O_{ij}$ ) مقادیر مشاهده شده ( $E_{ij}$ ) مقادیر مورد انتظار ماتریس فراوانی دو حالتی تحت فرض صفر است. بنابراین به مقایسه مقادیر بحرانی ( $\chi^2$ ) و مقادیر مشاهده شده ( $X_0^2$ ) پرداخته می‌شود. در نهایت نتیجه حاصل از این معادله با توزیع  $\chi^2$  در سطح احتمالاتی ۰/۰۱ و با درجه آزادی  $n-1$  برای زنجیره مارکوفی مرتبه دوم آزمون شد.

- ماتریس احتمال انتقال برآورد گردید. شیوه برآورد ماتریس احتمال انتقال بکار گرفته شده در این پژوهش نیز روش بیشینه درست‌نمایی است. بر مبنای تئوری کلاسیک، احتمال بر اساس فراوانی‌های نسبی در یک دوره آماری طولانی و به صورت درست‌نمایی بیشینه اتفاق افتادن رویداد مورد نظر تعریف می‌شود. این درست‌نمایی غالباً با  $p$  نشان داده می‌شود (جانسون و باتریا<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶). یکی از راه‌های معمول ارائه احتمال‌های تغییر وضعیت یک زنجیره مارکوف، ماتریس احتمال انتقال یک مرحله‌ای است. احتمال تغییر وضعیت یک مرحله‌ای (مرتبه اول) برابر احتمال رفتن از حالت  $i$  به  $j$  در یک دوره زمانی با آغاز از  $n$  می‌شود.

۴- پارامتر تداوم که نشان دهنده میزان خودهمبستگی روزهای امواج گرمایی با یکدیگر است، با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه شد.

در این معادله صفر نشان‌دهنده روز عادی و ۱ نشان‌دهنده روز موج گرمایی است. نتایج مثبت حاصل از این ضریب بدان معناست که موج گرمایی امروز با روز قبل وابستگی دارد.

$$R = P_{11} - P_{01} \quad \text{رابطه ۱۰.}$$

۵- احتمال پایا برای ماتریس تغییر وضعیت مرتبه اول محاسبه شد. احتمال پایا از به توان رساندن ماتریس تغییر وضعیت یک مرحله‌ای به دست می‌آید. لازم به ذکر است که همه توان‌های ماتریس احتمال ( $P^k$ ) نیز

از مقادیر ممکن را به خود اختصاص دهد؛ اگر  $i = tX$  باشد، آن‌گاه این فرایند منعکس‌کننده حالت  $i$  در زمان  $n$  خواهد بود. پس می‌توان نتیجه گرفت که هرگاه این فرایند در وضعیت  $i$  باشد، با احتمال ثابتی ( $p_{ij}$ ) می‌توان تغییر حالت آن به  $j$  را در آینده برآورد کرد، یعنی:

رابطه ۸.

$$\Pr(X_{t+1}=j|X_t=i, X_{t-1}, \dots, X_0=i_0) = p_{ij}$$

که برای همه حالت‌های  $i_0, i_1, \dots, i_{t-1}, i, j$  و همه  $t \geq 0$  صادق است. پس توزیع شرطی هر حالت آتی  $X_{t+1}$ ، با توجه به حالت‌های موجود  $X_t$  و حالت‌های گذشته  $X_0, X_1, \dots, X_{t-1}$ ، فقط وابسته به حالت موجود و مستقل از حالت‌های گذشته است، یعنی وابستگی شرایط اقلیمی فردا فقط به شرایط اقلیمی امروز و مستقل از شرایط اقلیمی روزهای گذشته است.

سپس با در نظر گرفتن برآمدهای احتمال حالت گسسته در زمان، تداوم امواج گرمایی، بر اساس قوانین احتمال و به صورت فرایندهای تصادفی زنجیره مارکوف یک مرحله‌ای (مرتبه اول) دو حالتی مورد تحلیل قرار گرفت. با مشخص شدن عناصر ماتریس، احتمال انتقال برخی از ویژگی‌های مهم سری داده‌ها به صورت زیر محاسبه گردید:

۱- ماتریس فراوانی انتقالات آن برای بیان رخداد روز موج گرمایی (۱) و رخداد روز عادی (۰) بدین صورت ارائه گردید:

$$F = \begin{pmatrix} n_{00} & n_{01} \\ n_{10} & n_{11} \end{pmatrix} \quad \text{۲-}$$

شایان یادآوری است که ماتریس فراوانی تغییر وضعیت یک روز عادی - روز عادی با  $n_{00}$ ، تغییر وضعیت روز گرم - روز گرم با  $n_{11}$  نشان می‌دهد.

۲- برای ارزیابی نیکویی برازش ماتریس فراوانی با زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالتی از آزمون استقلال استفاده شد. در آزمون استقلال، فرض صفر ( $H_0$ ) بر این ایده استوار است که سری‌ها مستقل هستند (یعنی داده‌ها از زنجیره مارکوف مرتبه مورد نظر،

1. Hoaglin

2. Johnson and Bhattacharyya

شرقی قرار دارد. بررسی شاخص‌های دما نشان می‌دهد اهواز دارای اقلیم بیابانی گرمسیری با دامنه دمایی بسیار بالاست. روند تغییرات دمای ماهانه نشان می‌دهد که تیر و مرداد گرم‌ترین ماه‌های سال هستند. دماهای بسیار بالا در بیشتر ماه‌های سال مشاهده می‌شود به طوری که دمای روزها از خرداد تا شهریور از مرز ۴۰ درجه سیلسیوس فراتر می‌رود و می‌توان گفت روند افزایش گرما از اردیبهشت ماه مشهود است به گونه‌ای که دمای شبانه‌روزی از اردیبهشت تا شهریور بسیار بالاست. مجموعه شرایط دمایی و توزیع زمانی آن به لحاظ آسایش دمایی، شرایط زیست اقلیمی و سکونتگاهی، تأثیر معنی‌داری بر اکوسیستم‌ها و فعالیت‌های انسانی دارد، لذا تمرکز بر پدیده آب و هوایی فرین امواج گرمایی در کانون توجه این پژوهش قرار گرفته است.

### یافته‌های پژوهش

#### مشخصات توصیفی تداوم‌های امواج گرمایی

در این پژوهش بعد از شناسایی و آشکارسازی امواج گرمایی ایستگاه اهواز، از لحاظ دوره تداوم، به امواج گرمایی کوتاه و بلند تقسیم‌بندی شده‌اند. دسته اول امواجی هستند که بین ۳ تا ۵ روز تداوم داشتند و دسته دوم امواجی هستند ۶ روز یا بیشتر تداوم داشتند. که نخست برای آشکار شدن وضعیت موج‌های گرمایی ایستگاه اهواز، فراوانی سالانه رخدادهای موج‌های گرمایی محاسبه گردید. مجموع فراوانی امواج گرمایی استخراج شده در دوره آماری (۱۳۸۶-۱۳۴۰) حدود ۸۷ موج است که از این تعداد ۵۹ موج کوتاه و ۲۸ موج بلندمدت رخ داده است. گرچه امواج گرمایی ایستگاه اهواز تداومی بین ۳ تا ۱۴ روزه داشته، بیشترین رخداد را تداوم‌های سه و چهار روزه داشته‌اند اما با افزایش طول تداوم‌های موج‌های گرمایی، بسامد امواج به شدت کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که تداوم‌های ۳ روزه ۴۰/۲ درصد، تداوم‌های ۷ روزه ۸ درصد، و تداوم‌های فراتر از ۱۰ روز کمتر از ۳/۵ درصد مشاهده شده‌اند. به عبارت دیگر امواج گرمایی بلندمدت به ندرت رخ می‌دهند.

ماتریس تصادفی خواهند بود. برای ماتریس تغییر وضعیت  $k$  مرحله‌ای وقتی  $k$  بزرگ می‌شود پدیده جالب توجهی رخ می‌دهد. در این حالت همه سطرهای ماتریس تغییر وضعیت با هم برابر می‌شوند به طوری که اگر به توان رساندن ماتریس تغییر وضعیت به توان‌های بالاتر ادامه یابد، درایه‌ها هیچ‌گونه تغییری نخواهند کرد. از یک مقدار به بعد با افزایش  $k$  هیچ تغییری در ماتریس احتمال ایجاد نمی‌شود و مقادیر ردیف‌های متناظر در ماتریس یکسان و برابر خواهند بود در این حالت گفته می‌شود که ماتریس به پایایی (ایستایی) رسیده است.

۶- امید ریاضی روزهای امواج گرمایی و روزهای عادی مشخص شد.

$$E_1 = \frac{1}{1-P_{11}} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$E_1 = \frac{1}{1-p_{00}} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

در این معادلات  $E_1$  گویای طول دوره مورد انتظار برای تشکیل دوره امواج گرمایی و  $E_0$  نشان‌دهنده طول دوره مورد انتظار برای روزهای عادی است. ۷- برآورد دوره برگشت امواج گرمایی با تداوم  $n$  روزه از دیگر کاربردهای تکنیک زنجیره مارکوف است. منظور از تداوم امواج گرمایی، فراوانی روزهای پیاپی است که امواج گرمایی در آن رخداد داشته باشد.

$$\frac{P_{01}+P_{10}}{P_{01} \times P_{11}(1-p_{10})^n} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

در اینجا  $n$  دوره وقوع موج گرمایی مورد نظر طی  $n$  روز،  $T_n$  دوره بازگشت امواج گرمایی  $n$  روزه است. با قرار دادن مقادیر مختلف تداوم امواج گرمایی از ۳ تا ۱۴ به ازای  $n$ ، طول دوره بازگشت امواج گرمایی برای هر فصل محاسبه شد.

### محدوده و قلمرو پژوهش

منطقه مورد مطالعه مرکز استان خوزستان، شهر اهواز می‌باشد که در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول

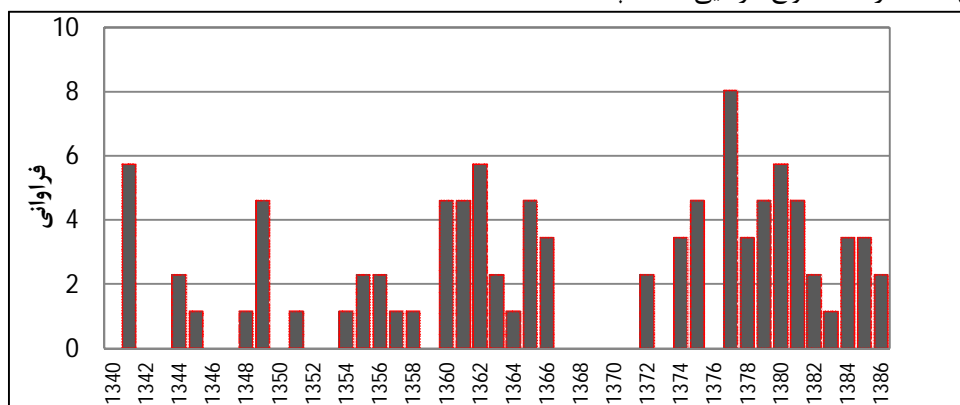
جدول ۱- فراوانی امواج گرمایی ایستگاه اهواز به درصد

۱۴	۱۳	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	تداوم موج‌های گرمایی
۱.۱	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۳.۴	۸	۱۶.۱	۶.۹	۲۰.۷	۴۰.۲	درصد فراوانی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳

شکل (۱) نشان می‌دهد. در سال‌های اولیه دوره مورد مطالعه، دامنه نوسان سالانه رخدادهای امواج گرمایی بالا بوده لیکن با گذشت زمان و علاوه بر افزایش تعداد رخدادهای امواج گرمایی، توالی رخداد منظم‌تر شده سال‌های متوالی همراه با امواج گرمایی نیز افزایش یافته است. به طوری که از سال ۱۳۷۷ تا پایان دوره بررسی شده (۱۳۸۶) هرساله رخداد موج‌های گرمایی ثبت گردیده، در دهه آخر، سال بدون رخداد موج گرمایی دیده نشده است. بی‌نظمی و تغییرپذیری شدید رخدادهای سالانه امواج گرمایی، حکایت از تغییرپذیری شدید میانگین دمای سالانه و تنوع عوامل تأثیرگذار بر دمای منطقه دارد که تفاوت‌های آشکار در ماه‌های حدی را در یک منطقه چنین به نمایش گذارده است.

بیشترین رخداد امواج گرمایی در سال ۱۳۷۷ بوده است. در طی سال‌های مورد بررسی (۱۳۸۶-۱۳۴۰) ۳۱ سال همراه با رخدادهای امواج گرمایی و ۱۶ سال آن بدون رخدادهای موج گرمایی مشاهده گردیده است. بدین ترتیب تقریباً در ۶۵ درصد سال‌های مورد مطالعه امواج گرمایی وجود داشته و سال‌های همراه با رخداد امواج گرمایی دو برابر سال‌های بدون رخداد امواج گرمایی بوده است. همچنین شکل (۱) آشکارا نشان می‌دهد که در اواخر دوره مورد بررسی، افزایش قابل توجهی در رخدادهای امواج گرمایی شکل گرفته است. بطوری که در دهه آخر و از سال ۱۳۷۷ تا پایان دوره مورد مطالعه، تقریباً ۴۰ درصد رخدادهای امواج گرمایی حادث شده است. ویژگی دیگری که در توزیع زمانی امواج گرمایی ایستگاه اهواز بسیار حائز اهمیت است، توالی سالانه رخداد امواج گرمایی است. چنانکه



شکل ۱- رخدادهای سالانه امواج گرمایی ایستگاه اهواز (۱۳۸۶-۱۳۴۰) (مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳)

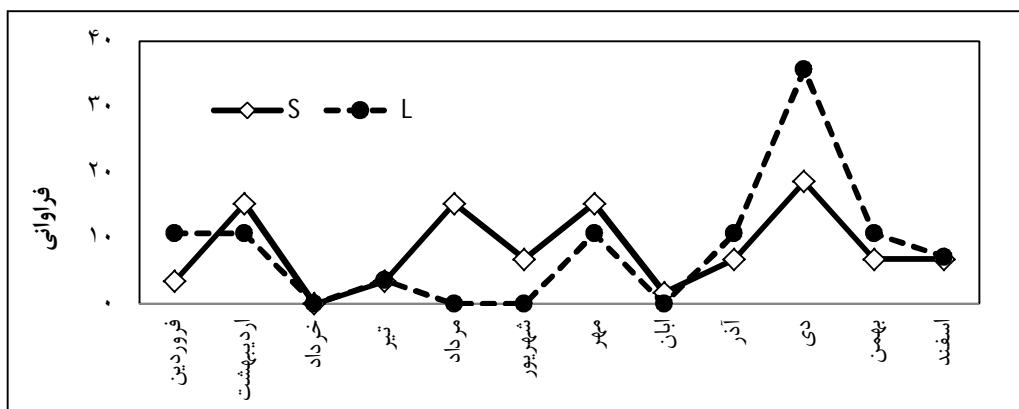
فراوانی و در فصل زمستان بیشترین فراوانی را دارند. در واقع انحراف ناهنجاری‌های دمای روزانه در فصل زمستان، نسبت به سایر فصول تداوم‌های طولانی‌تری داشته است. بدین ترتیب بالاترین تعداد و تداوم رخدادهای امواج گرمایی مربوط به فصل زمستان است.

بررسی توزیع ماهانه امواج گرمایی نیز نشان می‌دهد که دی‌ماه، از بالاترین فراوانی ماهانه برخوردار بوده است به طوری که در مجموع ۲۴/۱۴ درصد

بررسی توزیع فصلی امواج گرمایی نشان می‌دهد که فصل زمستان در طی دوره مورد بررسی پررخدادترین فصل سال بوده است. بدین ترتیب با وجود ثبت بالاترین دماهای روزانه در فصول گرم سال (بهار و تابستان)، بالاترین رخدادهای امواج گرمایی در فصول سرد سال یعنی زمستان و سپس پائیز دیده می‌شوند. بنابراین بیشترین انحراف‌های دمای روزانه ایستگاه اهواز در فصول سرد سال به وقوع پیوسته است. امواج بلندمدت نیز در فصل تابستان، کمترین

توزیع فراوانی ماهانه امواج کوتاه مدت و بلندمدت به تفکیک بررسی شود موازی بودن شیب فراوانی ماهانه رخدادهای بلندمدت و کوتاه مدت آشکار می شود. به طوری که طبق شکل (۲) در هر نقطه تغییر شیب فراوانی ماهانه هر دو تداوم کوتاه مدت و بلندمدت همسو بوده است. بدین ترتیب وجود الگوی زمانی مشابه در توزیع ماهانه تداوم های کوتاه مدت و بلندمدت نیز نشان می دهد که عموماً هر دو تداوم از عوامل مشابهی تأثیر می پذیرند.

موج های گرمایی کوتاه مدت و بلندمدت در دی ماه دیده شده است و ماه های اردیبهشت و مهر در مقام دوم قرار دارند. نکته قابل توجه این است که با وجود بیشترین تمرکز رخداد های امواج گرمایی در ابتدای فصل زمستان، بلافاصله در بهمن و اسفند شیب کاهشی تندی حادث می شود. درصد توزیع فراوانی ماهانه هر دو تداوم در خرداد ماه صفر است و می توان گفت در خرداد ماه طی ۴۷ سال دوره مورد بررسی، موج گرمایی شکل نگرفته است. همچنین اگر درصد



شکل ۲: توزیع ماهانه امواج گرمایی بلندمدت و کوتاه مدت ایستگاه اهواز به درصد (۱۳۸۶-۱۳۴۰) مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳

گرمایی بیشتر از ماه های گرم سال می باشد که نشان از کاهش طول دوره سرد سال در ایستگاه اهواز دارد. پس از دهه ۶۰ فراوانی روزهای امواج گرمایی، افزایش چشمگیری یافته است و این افزایش در دهه ۱۳۷۰ به اوج می رسد به طوری که در سال ۱۳۷۷ بیشترین روزهای موج گرما با تعداد ۳۸ روز در سال قابل مشاهده است در حالی که میانگین سالانه تعداد روزهای امواج گرمایی در ایستگاه اهواز ۹ روز در سال است. در واقع تعداد روزهای امواج گرم، محرک تعداد رخداد های امواج گرما است به همین دلیل بیشترین تعداد روزهای امواج گرما و نیز بالاترین فراوانی امواج گرمایی، در سال ۱۳۷۷ به ثبت رسیده است.

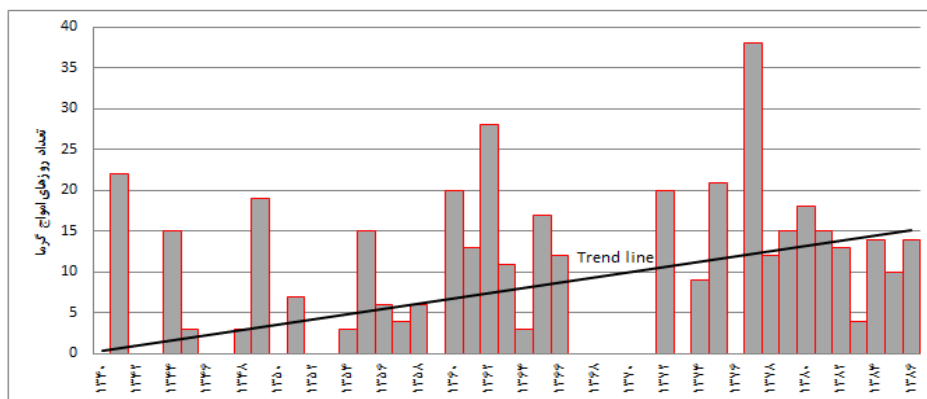
### روزهای امواج گرمایی

تعداد روزهای امواج گرمایی، فراوانی روزهای موج های گرمایی با تداوم آم است. بدین ترتیب سهم سالانه روزهای امواج گرمایی از طریق رابطه (۱۴) برآورد شده است.

$$\begin{aligned} I &= 3,4,5,\dots,14 \\ z &= 1,2,3,\dots,47 \\ \text{رابطه ۱۴} \quad \text{HWday}_{(I,j)} &= \sum_{i=3}^{14} \text{HWD}_{(i,j)} \end{aligned}$$

بدین ترتیب مجموع روزهای امواج گرمایی طی دوره مورد مطالعه، ۴۱۰ روز برآورد شده است که ۱۳۸ روز سهم دوره گرم و ۲۷۲ روز سهم دوره سرد سال می باشد. آهنگ زمانی تعداد روزهای امواج گرمایی نشان می دهد که در ماه های سرد تعداد روزهای امواج





شکل ۳: فراوانی رخدادهای روزهای امواج گرما در ایستگاه اهواز (۱۳۸۶-۱۳۹۰)  
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳

درصد فراوانی حالت انتقال شرطی روز پی‌درپی موج گرمایی ( $n_{11}$ ) برای فصل زمستان و کمترین در فصل تابستان ثبت شده است. به عبارت دیگر در فصل زمستان در ایستگاه اهواز ۴۰٫۳ درصد و در فصل تابستان تنها ۱۰٫۶ درصد وقوع موج گرما ثبت گردیده است.

چنان که اشاره شد از آزمون‌های بسیار معتبر جهت ارزیابی ماتریس تغییر حالت مارکوفی، آزمون  $\chi^2$  است. بعد از استخراج ماتریس فراوانی موج گرمایی، وابستگی روزهای موج گرمایی به یکدیگر با استفاده از آماره آزمون مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمون به‌طور گویا و با سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بودن وابستگی روزهای موج گرمایی معلوم گردید. بدین ترتیب می‌توان فرضیه صفر خود را، که توالی انتقالات مستقل از یکدیگر هستند، رد کرد و نتیجه گرفت که انتقالات وقوع روزهای موج گرمایی به یکدیگر وابسته‌اند و ویژگی زنجیره مارکوف مرتبه اول را دارند. سپس با توجه به تعداد تغییر حالت‌ها به حالت‌های دیگر، ماتریس احتمال انتقالات برای فصل‌های مختلف سال از ماتریس فراوانی به شکل زیر حاصل شد:

### شدت امواج گرمایی

انحراف مثبت از میانگین بلندمدت دمای روزانه و تداوم آن می‌تواند یک موج گرمایی گسترده ایجاد کند. در بررسی و تحلیل امواج گرمایی شهر اهواز از نمایه انحراف از میانگین بلندمدت به‌نجار شده (NTD) استفاده شده است. دامنه نوسان این نمایه در موج‌های گرمایی کوتاه‌مدت، ۲ تا ۴/۵ درجه سلسیوس، و در موج‌های گرمایی بلندمدت، ۲ تا ۶٫۵۶ درجه سلسیوس می‌باشد. بدین ترتیب در امواج گرمایی بلندمدت نسبت به امواج گرمایی کوتاه‌مدت، علاوه بر طول تداوم، انحراف از دمای روزانه نیز افزایش یافته است.

### برآورد و محاسبه احتمال رخداد امواج گرمایی

برای مطالعه و بررسی احتمال تداوم امواج گرمایی ایستگاه اهواز، ماتریس فراوانی انتقالات و ماتریس احتمال انتقالات زنجیره مارکوف مرتبه ۱ با دو حالت روز موج گرمایی و روز عادی برای دوره ۴۷ ساله به تفکیک فصل استخراج گردید. ماتریس فراوانی فصلی انتقالات و ماتریس احتمال انتقالات فصلی بر اساس روزهای همراه با موج گرمایی ( $n_{11}$ ) و روزهای عادی ( $n_{00}$ ) محاسبه گردید. براساس جدول (۲) بیشترین

جدول ۲- فراوانی و درصد فراوانی حالت‌های انتقال شرطی دما

زمستان	پائیز	تابستان	بهار	فصول	
۳۷۰۳	۳۹۵۰	۴۰۶۲	۴۱۳۰	فراوانی	n <sub>00</sub>
۸۸	۹۳	۹۳	۹۴،۵	درصد	
۱۵۴	۹۸	۱۱۸	۸۰	فراوانی	n <sub>01</sub>
۳،۶	۲،۳	۲،۷	۱،۸	درصد	
۱۵۳	۹۸	۱۱۸	۸۰	فراوانی	n <sub>10</sub>
۳،۶	۲،۳	۲،۷	۱،۸	درصد	
۱۸۱	۸۳	۷۲	۸۰	فراوانی	n <sub>11</sub>
۴،۳	۱،۹	۱،۶	۱،۸	درصد	

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳

جدول ۳- ماتریس درصد احتمال انتقالات شرطی مرتبه اول

زمستان	پائیز	تابستان	بهار	فصول
۰،۹۶	۰،۹۷	۰،۹۷	۰،۹۸	P <sub>00</sub>
۰،۰۴	۰،۰۳	۰،۰۳	۰،۰۲	P <sub>01</sub>
۰،۴۵	۰،۵۴	۰،۶۲	۰،۵۰	P <sub>10</sub>
۰،۵۴	۰،۴۵	۰،۳۷	۰،۵۰	P <sub>11</sub>

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳

روز پاییزی همراه با موج گرما در فصل زمستان می باشد.

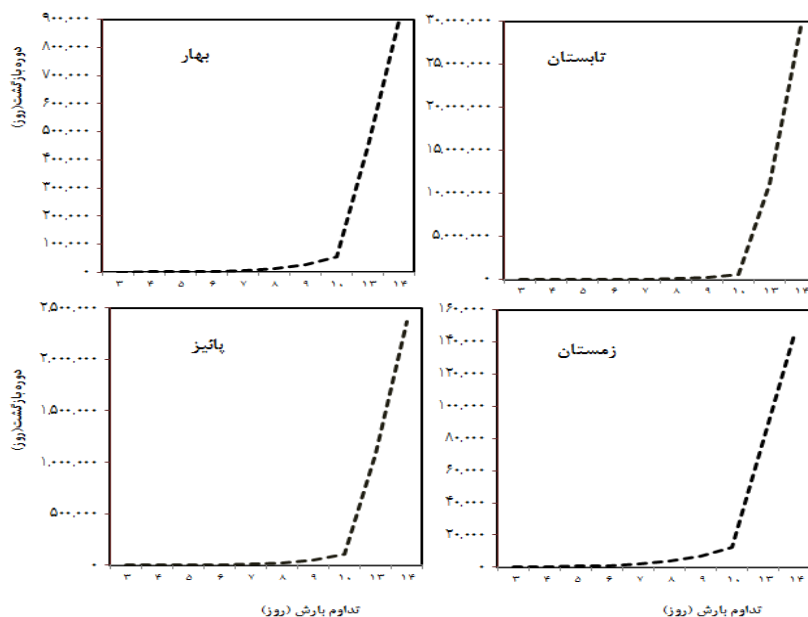
احتمال‌های تغییر وضعیت k مرحله‌ای (ماتریس احتمال پایا) که از به توان kام رساندن ماتریس تغییر وضعیت یک مرحله‌ای بدست می‌آید، محاسبه شد. همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد تغییر حالات بی‌شماری می‌توان برای زنجیره مارکوف تصور و برآورد نمود اما جمع‌بندی این تغییر حالات در یک عبارت کلی می‌تواند تصویر ساده و روشنی را ارائه نماید. در ماتریس احتمال پایا همه سطرهای ماتریس تغییر وضعیت باهم برابر می‌شوند به توان‌های بالا رساندن ماتریس تغییر وضعیت، تغییری در درایه‌های ماتریس ایجاد نخواهد کرد. بر این اساس ماتریس تغییر وضعیت k مرحله‌ای (ماتریس احتمال پایا) برای روزهای همراه با موج گرمای شهر اهواز، در مرحله هفتم و تا ۴ رقم اعشار به این شرایط رسید:

$$P^{12} = \begin{pmatrix} 0/9494 & 0/0506 \\ 0/0506 & 0/9494 \end{pmatrix}$$

اعداد هر سلول جدول بیانگر وقوع حالات وجود و عدم وجود موج گرمایی در فصول مختلف در ایستگاه اهواز طی دوره مورد بررسی است. بر این اساس احتمال وقوع P<sub>00</sub> که بیانگر دو روز عادی متوالی می باشد، برای تمام فصل‌های سال کمتر از ۹۶ درصد نیست. بطوریکه کمینه احتمال وقوع P<sub>00</sub> به میزان ۹۶ درصد در فصل زمستان و بیشینه احتمال وقوع این حالت در فصل بهار با ۹۸ درصد طی دوره آماری رخ داده است. در خصوص احتمال وقوع P<sub>11</sub> که بیانگر دو روز گرم متوالی می‌باشد، بالاترین احتمال انتقالات با ۵۴ درصد در فصل زمستان و کمترین احتمال انتقالات با ۳۷ درصد در فصل تابستان دیده می‌شود. نتایج مثبت ضریب تداوم زنجیره مارکوف که بیانگر میزان خودهمبستگی روزهای امواج گرما به یکدیگر است، نشان داد که موج گرمایی امروز با موج گرمای دیروز وابستگی دارد. ضریب همبستگی برای هر فصل جداگانه برآورد گردید که برای تمامی فصول، ضریب خودهمبستگی مثبت بدست آمد. بیشترین و کمترین ضریب خودهمبستگی به ترتیب در فصل زمستان با ۵۱ درصد و فصل تابستان با ۳۵ درصد دیده شده است. بر این اساس حداکثر احتمال وقوع دو

است. حاصل این محاسبات در شکل (۴) ارائه گردیده است. لازم به توضیح است که مقیاس دوره‌های بازگشت در چهار فصل متفاوت است. چنان که دیده می‌شود موج‌های گرمایی عمدتاً در فصل زمستان از دوره بازگشت کوتاه‌تری برخوردارند. برای مثال موج گرمایی چهار روزه در فصل زمستان با دور بازگشت حدود ۳۱۶ روز، در حالی که برای فصل تابستان با بازگشت ۱،۷۹۹ روز مشخص می‌شوند. همچنین با افزایش دوره تداوم موج گرمایی، دوره بازگشت افزایش می‌یابد به طوری که موج ۱۰ روزه در فصل تابستان دوره بازگشت حدود ۸۳۹،۶۰۷ روز و تقریباً برابر ۱۶۶۰ سال دارد.

شرایط بدون توجه به ماتریس اول، بعد از ۱۲ وضعیت با احتمال‌های ۰،۹۴۹۴ و ۰،۵۰۶ به شرط احتمال پایا می‌رسد. در واقع بردار سطری این ماتریس گویای احتمال وقوع وضعیت بلندمدت موج گرمایی است و همان‌طور که مشاهده می‌شود احتمال وقوع موج گرمایی حدود ۰،۰۵ عدم وقوع آن می‌باشد. امید ریاضی دوره بازگشت بردار احتمال پایای زنجیره مارکوف، (20 و 1)  $\approx \pi$  است. یعنی به طور متوسط هر ۲۰ روز یک بار موج گرمایی و هر ۱ روز یک بار روز عادی خواهد بود. البته این مقادیر متوسط برای طول سال صادق است. دوره برگشت برای امواج گرمایی با قرار دادن مقادیر مختلف از ۳ تا ۱۴ به ازای دوره تداوم امواج گرمایی، برای هر فصل محاسبه شده



شکل ۴: دوره‌های بازگشت امواج گرمایی ۳ تا ۱۴ روزه ایستگاه اهواز. مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳

### جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

موج‌های سه و چهار روزه داشته‌اند و سهم موج‌های پرتداوم مانند موج‌های پرتداوم مانند موج‌های ۱۰ روزه و بیشتر، اندک می‌باشد. بر این اساس با افزایش دوره تداوم از بسامد رخداد کاسته می‌شود و با افزایش طول دوره‌ها تعداد فراوانی امواج گرمایی کاسته می‌شود. سال ۱۳۷۷ پر رخدادترین سال همراه با موج گرمایی بوده تعداد رخدادها در دهه اخیر افزایش قابل ملاحظه‌ای نسبت به دهه‌های قبل داشته است.

هدف این پژوهش واکاوی رفتار و رخداد امواج گرمایی شهر اهواز بود که جهت شناسایی امواج گرما از شاخص فومیکی و برای شناسایی احتمال رخداد امواج گرما از زنجیره مارکف استفاده شد. در بررسی آمار توصیفی امواج گرمایی ایستگاه اهواز طی دوره‌آماري (۱۳۸۶-۱۳۴۰) مشخص شد تداوم‌های امواج بین ۳ تا ۱۴ روز بوده، بیشترین رخداد را

محاسبه شد. احتمال روزهای توأم با امواج گرما از فصل تابستان به سمت فصل زمستان از افزایش قابل توجهی برخوردارند در حالی که به سمت تابستان احتمال رخداد روزهای امواج گرما کاسته می‌شود. دوره بازگشت روزهای امواج گرما برای تداوم‌های مختلف (۳ تا ۱۴ روز) شهر اهواز برای چهار فصل محاسبه شد. بر این اساس امواج گرمایی عمدتاً در فصل زمستان از دوره بازگشت کوتاه‌تری برخوردارند و تابستان طولانی‌ترین دوره‌ی بازگشت را داشته است. البته شایان ذکر است که با افزایش تداوم امواج گرمایی در همه فصول، دوره بازگشت طولانی‌تری نیز در پی خواهد بود. با توجه به بیشینه رخدادهای امواج گرمایی و بالاترین احتمالات انتقال وضعیت در زمستان، کوتاه‌ترین دوره بازگشت در این فصل امری طبیعی است و حکایت از کوتاه شدن فصل زمستان و تغییر هنجارهای دمایی در منطقه است.

#### منابع

۱. آشگر طوسی، شادی. امین علیزاده و سهیلا جوانمرد. ۱۳۸۲. پیش‌بینی وقوع خشکسالی در استان خراسان، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۰، اصفهان.
  ۲. اسمعیل نژاد مرتضی. ۱۳۹۲. شناسایی رفتارهای مکانی امواج گرمایی سیستان و بلوچستان با برنامه Spot Hot در محیط GIS. کرمان: نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران.
  ۳. اسمعیل نژاد، مرتضی. محمود خسروی و بهلول علیجانی و سیدابوالفضل مسعودیان. ۱۳۹۲. شناسایی امواج گرمایی ایران، جغرافیا و توسعه، دوره ۱۱، شماره ۳۳، زاهدان.
  ۴. بابائیان، ایمان. زهرا نجفی نیک و فاطمه زابل عباسی و دکتر مجید حبیبی نوخندان و حامد ادب و شراره ملبوسی. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، زاهدان.
- نتایج پایش نمایه NTD نشان داد فصل زمستان دارای بیشترین درصد رخداد امواج گرمایی بوده همچنین امواج گرمایی در دوره سرد سال (پاییز و زمستان) دوام‌های طولانی‌تری نسبت به دوره گرم سال (بهار و تابستان) دارند. بنابراین دوره سرد در حال کوتاه شدن است که موجب کاهش طول دوره سرما و عدم برآورد نیاز سرمایی گیاهان می‌گردد. در توزیع ماهانه، دی‌ماه با ۲۴،۴ درصد بالاترین رخداد امواج گرمایی را بین سایر ماه‌های سال داشته است. میانگین سالانه تعداد روزهای امواج گرما در ایستگاه اهواز ۹ روز بوده که این رقم در سال ۱۳۷۷ معادل ۳۸ روز می‌باشد. بدین ترتیب با توجه به هم‌زمانی بیشترین بسامد امواج گرمایی و تعداد روزهای امواج گرما در یک سال (۱۳۷۷)، میرهن است که تعداد روزهای امواج گرمایی محرک تعداد رخدادهای امواج گرمایی است. دامنه نوسان نمایه بهنجارشده انحراف از میانگین بلندمدت دما در امواج کوتاه‌مدت ۴،۵-۲ درجه سلسیوس و در امواج بلندمدت ۵،۶-۲ درجه سلسیوس می‌باشد، بنابراین در امواج گرمایی با تداوم‌های بیشتر، علاوه بر طول تداوم، شدت امواج نیز بیشتر است که در این صورت پیامدهای ناگوار فراوان‌تری را به همراه خواهند داشت. در تحلیل و پایش احتمالات وقوع امواج گرمایی ایستگاه سینوپتیک اهواز با استفاده از روش زنجیره مارکوف معلوم شد که زنجیره مارکوف مرتبه اول دو حالت به برزش مناسبی بر حالت‌های امواج گرمای این شهر دارد. این برزش با استفاده از آزمون کای دو با سطح اطمینان ۹۹ درصد تأیید شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از محاسبه حالت‌های انتقالی امواج گرما طی فصول مختلف، احتمال وقوع حالت p11 در فصل زمستان بیشتر از سایر فصول رخ می‌دهد. پارامتر تداوم (ضریب خودهمبستگی) در فصل زمستان دارای مقدار حداکثر بوده که نشان‌دهنده بیشترین احتمال وقوع حالت p11 در این فصل می‌باشد. نیز برآوردها نشان داد که روزهای امواج گرمایی با احتمال وقوع ۰،۵۰۶ رخ می‌دهند. البته از آنجا که این مقدار متوسط برای طول سال است در ادامه احتمال رخداد روزهای همراه با موج گرما برای هر یک از فصول

۵. بهاروند، فاطمه. ۱۳۹۲. بررسی امواج گرمایی در فصل تابستان استان لرستان. رساله کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی. استاد راهنما: دکتر محمود خسروی. دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده جغرافیا، گروه جغرافیا.
۶. جهانبخش، سعید. سیمای ترابی. ۱۳۸۳. بررسی و پیش‌بینی دما و بارش در ایران، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۱۹، شماره ۷۴.
۷. چراغی، مسلم. ۱۳۹۱. تحلیل سینوپتیک امواج سرما و گرما در ایستگاه‌های منتخب جنوب غرب ایران. رساله کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی. استاد راهنما: دکتر محمد سلیقه. دانشگاه تربیت معلم تهران، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.
۸. دارند، محمد. ۱۳۹۲. شناسایی امواج گرما و سرما در استان کردستان و تغییرات بسامد رخداد آنها طی چند دهه‌ی اخیر، کرمان: نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران.
۹. شیرغلامی، هادی و بیژن قهرمان. ۱۳۸۴. بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه ایران، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۹، شماره ۱، اصفهان.
۱۰. سپه‌وند، رضیه. ۱۳۹۳. تحلیل آماری و سینوپتیک امواج گرمایی فرین غرب ایران. رساله کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی. استاد راهنما: یوسف قویدل رحیمی. دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی.
۱۱. عساکره، حسین و فرشته مازینی. ۱۳۸۹. بررسی احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، جغرافیا و توسعه، دوره ۸، شماره ۱۷، زاهدان.
۱۲. علیجانی، بهلول. پیمان محمودی و اله‌بخش ریگی چاهی و پرویز خسروی. ۱۳۸۹. بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۲، شماره ۷۳، تهران.
۱۳. کاری، ساحل. ۱۳۸۹. تحلیل زمانی و مکانی امواج گرما و سرما در شهر تهران. رساله کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی. استاد راهنما: بهلول علیجانی.
- دانشگاه تربیت معلم تهران، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.
۱۴. محمدی، حسین و فرحناز تقوی. ۱۳۸۴. روند شاخص حدی دما و بارش در تهران. پژوهش جغرافیایی، دوره ۳۷، شماره ۵۳، تهران.
۱۵. مؤمنی، منصور. ۱۳۷۴. پژوهش عملیاتی (مدل‌های احتمالی)، انتشارات مهر.
۱۶. منتظری، مجید و مرجان مهدیه. ۱۳۹۰. تحلیل همدید گرماهای فرین استان اصفهان در اسفند ۱۳۸۲، نجف‌آباد: همایش ملی بوم‌های بیابانی، گردشگری و هنرهای محیطی.
۱۷. هدایتی‌زاده، مهین. ۱۳۹۲. تحلیل سینوپتیک موج گرما و سرما در استان کرمانشاه. رساله کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی. استاد راهنما: بهلول علیجانی. دانشگاه تربیت معلم تهران، دانشکده جغرافیا.
۱۸. یزدان‌پناه، حجت‌اله و تیمورعلیزاده. ۱۳۹۰. برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکوف. تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۶، شماره ۱۰۲، اصفهان.
۱۹. یزدان‌پناه، حجت‌اله. نساء سپندار و مینو احمدیان و سید پیام فدائی. ۱۳۹۱. بررسی امواج گرمایی حادث شده در کرمانشاه. زاهدان: همایش ملی شهرهای مرزی و امنیت، چالش‌ها و رهیافت‌ها.
20. Cowan Tim, Ariaan Purich, Sarah Perkins, Alexandre Pezza, Ghyslaine Boschat, Katherine Salder 2014. More frequent, longer, and hotter heat waves for Australia in the twenty-first century. *Climate Journal*, Vol 27, No 15.
21. Ding Ting, Weihong Qian, Zhongwei Yan 2009. Changes in hot days and heat waves in China during 1961–2007. *International Journal of Climatology*, 30: 10.
22. Fang Xinggin, Anya Wang, Fong Soi-Kun, Lin Wenshi, Liu Ji 2008. Changes of reanalysis-derived Northern Hemisphere summer warm extreme indices during 1948–2006 and links with climate variability. *Global and Planetary Change Journal*, 6: 1.
23. Fujibe fumiaki, Nobuo Yamazaki, Kenji Kobayashi, Hiroshi Nakamigawa(2007). Long-Term Changes of temperature

27. Mehrotra R, Sharma Ashish 2007. A stochastic daily rainfall occurrence generator with higher time scale dependence. Geophysical Research Journal, 9.
28. Perkins S E, L.V. Alexander, on the measurement of Heat Wave 2014. Climate Journal, 26.
29. Sonnadara D.U.J., D. R. Jayewardence 2015. A Markov chain probability model to describe wet and dry patterns of weather at Colombo. Theoretical and Applied Climatology Journal, 119(1).
- extremes and day-to-day variability in Japan. Meteorology and Geophysics Journal, 58.
24. Guirgus Kristen, Alexander Gershunov, Alexander Trady, Rupa Basu (2014). The Impact of Recent Heat Waves on Human Health in California. Appl. Meteor. Climatol Journal, 53.
25. Hoaglin, David C, Fredrick Mosteller, John W. Tukey 2006. Exploring Data Table, Trend, and Shapes, John Wily & Sons.Inc. p.42, U.S.A.
26. Johnson Richard A, Gouri K. Bhattacharyya (2006). Statistics: *Principles and Methods*, John Wiley & Sons, Inc. p.73, U.S.A.