

## برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی<sup>۱</sup> با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف<sup>۲</sup>

### چکیده

روند تغییرات دما در چند دهه اخیر در حال افزایش بوده و این تغییرات در مناطقی همچون ایران- که در کمربند خشک و نیمه خشک دنیا واقع شده است- چشمگیرتر است. در این پژوهش وقوع امواج گرمایی با تداوم‌های مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف و آمار بلند مدت ۲۰ ساله دمای حداکثر روزانه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) انجام گرفته است. داده‌های آماری حداکثر دمای روزانه پنج ایستگاه هم‌دید در استان که دارای حداقل بیست سال آمار روزانه بودند، انتخاب شدند و با طرح یک شاخص آماری بر روی این داده‌ها در تک تک ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، دماهای حداکثری که از شاخص مورد نظر بیشتر بودند، به عنوان موج گرمایی تعریف شدند. پس از استخراج، داده‌های مورد نظر در هر یک از ایستگاه‌ها به دو دسته امواج کوتاه مدت و بلند مدت تقسیم شدند و روند آنها بررسی شد. در نهایت، با استفاده از زنجیره مارکف دوره تداوم و دوره بازگشت این امواج گرمایی شناسایی و تجزیه و تحلیل شد. تحلیل روند حداکثر دمای در استان کرمان نشان داد که بیشترین موج گرمایی رخ داده در ماه آوریل و می بوده است که این تغییرات روندی افزایشی در طول دوره آماری داشته‌اند، بخصوص در سال ۲۰۰۰

1-heat waves

2- Markov Chain

میلادی به حداکثر اوج خود رسیده و پس از آن دوباره طبق روند قبلی در حال افزایش است. در نهایت، نسبت به برآورد احتمال وقوع دوره‌های موج گرمایی ۱ تا ۹ روزه در ایستگاه‌های مطالعاتی اقدام شد.

## واژه‌های کلیدی: موج گرمایی، دمای حداکثر استان کرمان، زنجیره مارکف

### مقدمه

تغییر اقلیم مفهومی است که به سادگی نمی‌توان آن را تعریف کرد. با توجه به تعاریف متعددی که برای این واژه وجود دارد، در این مطالعه دیدگاه مورد نظر از تغییر اقلیم، درجه میزان تغییر پارامتر دما در طول یک دوره زمانی است و از آنجا که دما از عناصر اصلی شکل‌گیری اقلیم است، تغییرات آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر محل را دگرگون سازد. به همین دلیل است که بررسی روند دما در مقیاس‌های مختلف زمانی-مکانی، بخش بزرگی از تحقیقات اقلیم‌شناسی را به خود اختصاص داده است. بررسی پژوهشگران نشان داده است که در اکثر نقاط جهان، دما در طی دو دهه گذشته رو به افزایش بوده است (مسعودیان، ۱۳۸۳). تحلیل و بررسی داده‌های آماری دمایی نیم کره شمالی نشان می‌دهد که روند افزایش دما در قرن بیستم، احتمالاً حداکثر دمایی است که در طی ۱۰۰۰ سال اخیر رخ داده است (کریستین کوپه<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). هدف از انجام این مطالعه، بررسی روند دما در استان کرمان است که این روند با یک شاخص آماری به نام موج گرمایی انجام گرفته است. موج گرمایی باعث وارد نمودن خسارات فراوانی به کشاورزی، آتش‌سوزی جنگل‌ها و همچنین، زیان رساندن به سلامتی انسان‌ها می‌شود. این واقعه زمانی رخ می‌دهد که دمای کره زمین رو به افزایش باشد، بخصوص در ابتدای قرن بیستم که افزایش دمای جهانی در این سده شروع شده است. این واقعه به

---

3-Christina Koppe

برآورد احتمال وقوع اموج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف / ۵۳

تعداد فراوانی در نقاط مختلف جهان رخ داده، که عمدتاً در ورد سپهر زیرین رخ می دهد. البته، موج گرمایی می تواند به طور محلی در اقلیم یک ناحیه نیز رخ دهد (مارینا بالدی<sup>۴</sup>، ۲۰۰۴). مارینا بالدی و همکاران (۲۰۰۴) با مطالعه موج گرمایی بر روی حوضه مدیترانه، داده‌های ۵۳ تابستان حوضه مدیترانه را با استفاده از داده‌های NCAR/NCEP تجزیه و تحلیل کردند و به این نتیجه رسیدند که در ژولای و آگوست این پدیده از بقیه ماه‌ها چشمگیرتر است که در ژولای به صورت موج گرمایی کوتاه و در ماه آگوست به صورت موج گرمایی بلند هستند. کولاسینو<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۹۴) میزان افزایش دما و پیامد آن موج گرمایی را بر روی حوضه مدیترانه مطالعه نموده، آنها را به دو دسته موج کوتا و بلند تقسیم - بندی نمودند و با تحلیل آماری داده‌های ۱۹۵۰-۱۹۹۲ به این نتیجه رسیدند که ارتباطی بین وجود الگوهای واچرخندی و به وجود آمدن موج گرمایی در حوضه مورد مطالعه وجود دارد. جولیبو دیاز<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۶) با انجام مطالعه‌ای آثار موج گرمایی بر زندگی انسان را 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 کردند، در غیر این صورت، با بالا رفتن آستانه درجه حرارت میزان مرگ و میر هم افزایش می یابد. به علت افزایش گرمای جهانی در چند دهه اخیر مطالعات زیادی در زمینه موج گرمایی در نقاط مختلف جهان روی داده است (براند مکثول<sup>۷</sup> ۲۰۰۷؛ دنیل کوزلومسکی<sup>۸</sup> ۲۰۰۷؛ ولبرگمن<sup>۹</sup> و همکاران ۲۰۰۷؛ فوجیبی<sup>۱۰</sup> و همکاران ۲۰۰۷؛ لورنت<sup>۱۱</sup> و همکاران ۲۰۰۷؛ تام ریزن<sup>۱۲</sup> و همکاران ۲۰۰۸؛ اروپ<sup>۱۳</sup> و

---

4- Marina Baldi

5- M Colacino

6- Julio Di'az

7- Brandt Maxwell

8- Daniel R. Kozlowski

9- Justin A Welbergen

10- Fumiaki Fujibe

11- Laurent Argaud

12- Arbi Tamrazian

13- Auroop R. Ganguly

همکاران ۲۰۰۹؛ اندرو<sup>۱۴</sup> و همکاران (۲۰۰۹). خاویر مارتین وید و لیدا گومز<sup>۱۵</sup> (۱۹۹۸) منطقه‌بندی شبه جزیره اسپانیا را بر مبنای طول دوره‌های خشک از طریق روش زنجیره مارکف انجام دادند و بر اساس آن، نواحی مختلف این کشور را تقسیم بندی کردند؛ به این ترتیب که روش مارکف در نواحی شمالی اسپانیا کاملاً پذیرفته شده و قابل قبول است و بر عکس، نواحی جنوبی اسپانیا تطبیقی با این روش ندارد. در ایران هم زنجیره مارکف در زمینه‌های گوناگون به کار گرفته شده است (حقیقت جو و حیدری، ۱۳۸۱؛ حجازی زاده و شیرخانی، ۱۳۸۲؛ حجام و یوسفی، ۱۳۸۶؛ جعفری بهی، ۱۳۸۷).

#### داده‌ها و روش شناسی

برای ارزیابی روند دما در استان کرمان، داده‌های روزانه حداکثر دمای ایستگاه‌های همدید برای دوره گرم سال (آوریل - سپتامبر) سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۰۵ گردآوری شد. موقعیت ایستگاه‌های مطالعه شده استان کرمان، در شکل (۱) نشان داده شده است. به علت نبود آمار در داده‌های سطح منطقه مورد مطالعه، داده‌هایی که ۲۰ سال پیوسته دارای آمار بودند انتخاب شدند. به کمک این داده‌ها برای محاسبه شاخص موج گرمایی، ابتدا میانگین و انحراف معیار داده‌ها به کمک روابط زیر محاسبه شد:

رابطه (۱)

$$\bar{m} = \frac{\sum x_i f_i}{n}$$

رابطه (۲)

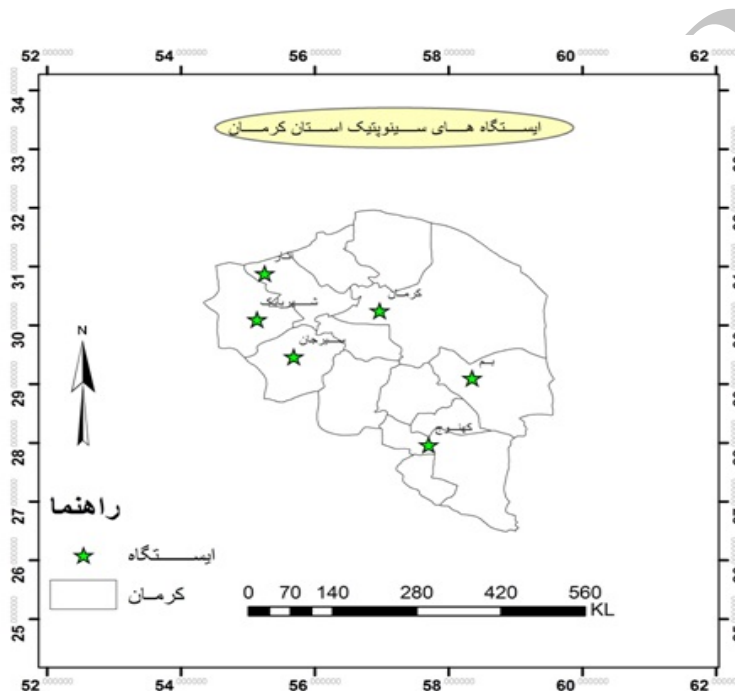
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{m})^2 f_i}{n}}$$

14- Andrew E. McKechnie

15- Martin vide, J., Gomez

برآورد احتمال وقوع اموج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف / ۵۵

در این رابطه  $m$  میانگین داده‌ها و  $x_i$  دمای حداکثر ایستگاه‌ها و  $n$  تعداد روز است. همچنین، در رابطه (۲)  $\sigma$  انحراف معیار دمای حداکثر روزانه ایستگاه‌هاست 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 (۲۰۰۴) استفاده شد.



شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های هم‌دید استان کرمان

رابطه (۳)

$$heat\ wave = m + 1.5 * \sigma$$

برای تعریف موج گرمایی رابطه فوق به صورت نقطه‌ای برای هر ایستگاه به طور جداگانه محاسبه شده و روزهای که آمار دمای حداکثر آنها از شاخص مورد نظر بیشتر بود، به دو دسته موج گرمایی کوتاه و موج گرمایی بلند تقسیم بندی شدند. دسته اول امواجی هستند که بین ۱ تا ۳ روز تداوم داشتند و دسته دوم امواجی هستند که ۶ روز یا

بیشتر تداوم داشتند (همان منبع، ۲۰۰۴). سپس نمودار هر یک از ماه‌های ذکر شده بر اساس تعداد روزهای همراه با موج گرمایی ترسیم گردید. برای نشان دادن تغییرات و دوره تداوم و همچنین دوره بازگشت امواج گرمایی شناسایی شده، از زنجیره مارکف استفاده شده است. مدل زنجیره مارکف یک تکنیک ریاضی برای مدل سازی پدیده‌های تصادفی است که توالی مشاهدات را در طول زمان نشان می‌دهند. وابستگی این زنجیره به زمان، یا از طریق ضرایب همبستگی سری یا با استفاده از ماتریس احتمال - انتقال بیان می‌شود (آشگر طوسی و همکاران، ۱۳۸۰).

#### برآورد ماتریس احتمال - انتقال زنجیره مارکف

در میان روش‌های آماری، زنجیره مارکف در علوم جوی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. زنجیره مارکف با روش‌های ساده ریاضی مانند ضرب ماتریس‌ها، حل احتمالات مربوط به فرایندهای وابسته را بسیار آسان نموده است. زنجیره مارکف در علوم مختلفی چون اقلیم‌شناسی، هواشناسی، اقتصاد و صنعت کاربرد فراوانی دارد (حجام و یوسفی، ۱۳۸۶). نخستین گام در جهت انطباق داده‌های مورد مطالعه بر زنجیره مارکف، تجزیه و تحلیل آنها و به دست آوردن فراوانی وقوع روزهای همراه با موج و درصد هر یک از آنها به تفکیک ماه به ماه برای هر یک از ماه‌های مورد مطالعه است، که برای این منظور یک ماتریس  $2 \times 2$  از فراوانی داده‌ها با توجه به رخداد روز قبل و بعد موج طبق رابطه (۴) تشکیل شده و سپس فراوانی و درصد فراوانی شرطی هر یک از داده‌ها محاسبه گردید که ارقام این ماتریس در محاسبه روابط بعدی مؤثر است.

رابطه (۴)

$$\begin{bmatrix} n_{00} & n_{01} \\ n_{10} & n_{11} \end{bmatrix}$$

محاسبه ماتریس احتمال زنجیره مارکف (p) را برای مرتبه اول دو حالت می‌توان به این صورت نوشت: در این ماتریس روز بدون موج با (0) و روز همراه با موج با (1) نشان

برآورد احتمال وقوع اموج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف / ۵۷

داده شده است. جمله  $p_{11}$ ؛ یعنی احتمال روز همراه با موج پس از یک روز موج گرمایی دیگر و جمله  $p_{00}$  بیانگر احتمال روز بدون موج پس از یک روز بدون موج دیگر است (حجازی زاده و شیرخانی، ۱۳۸۲). مقادیر فصلی احتمال انتقال شرطی برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه طبق روابط (۵ و ۶) محاسبه و در جداول (۲ تا ۶) آورده شده است.

رابطه (۵)

$$p_{01} = \frac{n_{01}}{n_{01} + n_{00}}, P_{00} = 1 - p_{01}$$

رابطه (۶)

$$P_{10} = \frac{n_{10}}{n_{10} + n_{11}}, P_{11} = 1 - p_{10}$$

سپس به منظور تعیین یک دوره موج گرمایی متوالی  $n$  روزه در سری مشاهدات در هر یک از ایستگاه‌هایی که چند روز تکرار شده اند، از طریق رابطه (۷) محاسبه شده است.

رابطه (۷)

$$H_{nn} = 1 + \frac{(N-n)pq(1-q)^{n-1}}{p+q}$$

که در آن  $H_{nn}$  طول دوره موج گرمایی است.  $N$ ؛ تعداد کل روزهای آماری،  $n$  تعداد دوره پیوسته و  $p=0.1$   $q=0.10$  است. در نهایت هم دوره بازگشت  $n$  روزه برای تک تک ماه‌ها در کل ایستگاه‌ها طبق رابطه (۸) محاسبه گردیده و در جدول (۱۲ تا ۱۶) آورده شده است.

رابطه (۸)

$$R_h = \frac{(p+q)}{pq(1-q)^n}$$

در این رابطه  $R_h$  دوره بازگشت موج گرمایی  $n$  روزه و  $p, q$  عناصر ماتریس احتمال انتقالی هستند. هدف از محاسبه دوره بازگشت پاسخ دادن به این سؤال است، که هر روز

موج گرمایی چه دوره بازگشتی دارد که تعیین این دوره بازگشتها برای انجام راهکار و مقابله با موج گرمایی مفید است. (همان منبع، ۱۳۸۲).

## نتایج بحث و نتیجه گیری

### ۱- ارزیابی نتایج استخراج شده از موج گرمایی

به کمک شاخص موج گرمایی ذکر شده در فوق، روزهایی که دمای حداکثر روزانه آنها از شاخص مورد نظر بیشتر بود، شناسایی و به تفکیک هر ایستگاه به صورت ماهانه طبقه بندی شدند. سپس روزهایی که تعداد موج گرمایی آنها در هر ایستگاه بین ۱ تا ۶ روز بوده، به عنوان موج کوتاه مدت و روزهایی که از ۶ روز به بالا بوده اند، موج بلند مدت شناسایی شدند (بالدی، ۲۰۰۴). نتایج حاصل از موج گرمایی در جدول (۱) بدین شرح زیر است. نتایج جدول بر اساس تلفیق کل سالها و ایستگاههاست.

جدول (۱) تعداد رخداد های موج گرمایی به تفکیک ماه

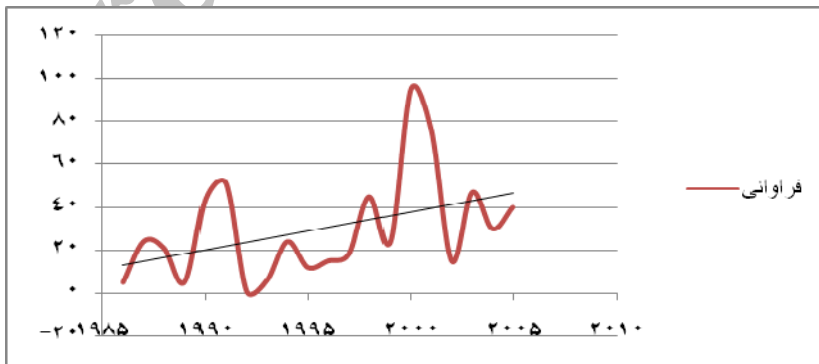
درصد روزها	تعداد روزها	درصد رخدادها	تعداد رخدادها	بلند مدت	کوتاه مدت	
۱۷٪	۱۱۰	۱۸٪	۱۱	۲	۹	آوریل
۲۰٪	۱۲۶	۲۳٪	۱۴	۶	۸	می
۱۵٪	۹۸	۱۴٪	۹	۰	۹	ژوئن
۱۶٪	۱۰۱	۱۸٪	۱۱	۱	۱۰	ژولای
۲۳٪	۱۴۷	۲۳٪	۱۴	۳	۱۱	اگوست
۷٪	۴۶	۴٪	۳	۰	۳	سپتامبر
	۶۲۸		۶۲	۱۲	۵۰	جمع کل

همان طور که مشاهده می شود، بیشترین موج گرمایی کوتاه مدت در ماه اگوست با تعداد ۱۱ رخداد و همچنین، بیشترین موج گرمایی بلند مدت در ماه می با ۶ رخداد همراه

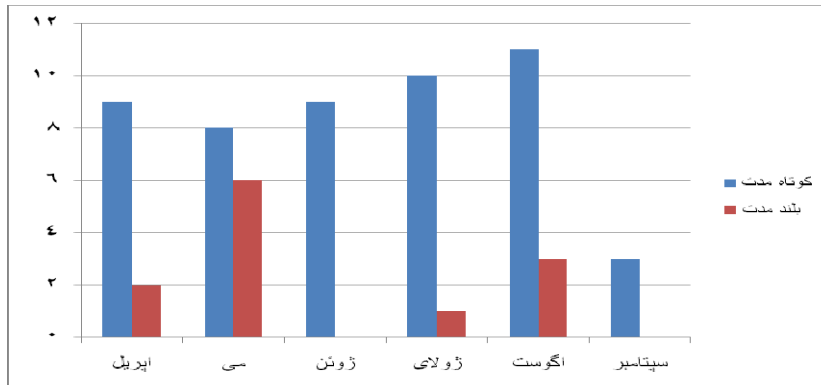


برآورد احتمال وقوع اموج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف / ۵۹

بوده است. شکل شماره (۲) تعداد موج گرمایی کوتاه مدت و بلند مدت را در هر ماه نشان داده است. این نمودار نشان می‌دهد که میزان تغییر پذیری موج گرمایی در هر ماه متفاوت است و به صورت کلی، بیشترین رخداد موج گرمایی چه به صورت کوتاه و چه به صورت بلند در ماه می و آگوست رخ داده که هر کدام ۲۳٪ رخدادها را به خود اختصاص داده‌اند. ماه سپتامبر و ژوئن ماه‌هایی هستند که در طول این ۲۰ سال دوره مطالعاتی موج بلند مدت در آنها رخ نداده است که در این میان، ماه سپتامبر دارای موج‌های کمتری نسبت به کل ماه‌های گرم سال است. اگر بر اساس تعداد کل روزهای همراه با موج نیز بخواهیم بررسی کنیم، ماه‌های می و آگوست با ۲۰٪ و ۲۳٪ بیشترین روزها را به خود اختصاص داده‌اند. میزان روند تغییر پذیری موج گرمایی در استان کرمان در طول دوره مطالعاتی (۱۹۸۶-۲۰۰۵) در شکل شمار (۱) نشان داده شده است. این نمودار بر اساس تعداد کل موج‌های گرمایی رخ داده در هر سال است که از جمع کل موج‌های هر ایستگاه حاصل شده است. همان‌طور که در این نمودار مشخص است، استان کرمان دارای یک روند گرمایی افزایشی بوده است؛ به خصوص از سال ۱۹۹۴ به بعد که این روند به شکل صعودی افزایش یافته و تا سال ۲۰۰۵ به روند قبلی خود باز نگشته است. این عامل نشان دهنده روند گرم شدن ایران است که طبق تحقیقات مسعودیان (۱۳۸۷) دمای شبانه روزی ایران با آهنگ ۲ درجه در هر ۱۰۰ سال در حال افزایش است.



شکل (۷) نمودار روند موج گرمایی بر اساس سال در استان کرمان



شکل (۲) نمودار تغییر ماهانه موج گرمایی بلند و کوتاه مدت در طی دوره مطالعاتی در استان کرمان

از سوی دیگر، این افزایش دما در بین فصول سال یکنواخت نیست و در نیمه گرم سال آهنگ افزایش دما نسبت به نیمه سرد سال بزرگتر بوده است. بنابراین، تفاوت دمای نیمه گرم و سرد سال در کشور رو به افزایش است و رژیم گرمایی کشور الگوی قاره‌ای پیدا کرده است (مسعودیان، ۱۳۸۷، ۶۵). پژوهش انجام گرفته مشخص می‌کند که ویژگی‌های ذکر شده در مورد آهنگ گرم شدن دما در ایران در مورد کرمان نیز صدق می‌کند؛ به طوری که این تغییرات در سال ۲۰۰۰ داری یک منحنی اوج بوده که این سال گرمترین سال در دوره آماری منطقه مورد مطالعه در کل ایستگاه‌هاست.

## ۲- برآورد احتمال وقوع دوره‌های موج گرمایی با استفاده از زنجیره مارکوف

در این پژوهش، با استفاده از زنجیره مارکوف مشخصات و ویژگی‌های موج گرمایی، از قبیل: فراوانی وقوع، فراوانی شرطی، دوره تداوم  $n$  روزه، همچنین، دوره بازگشت  $n$  روزه داده‌ها با استفاده از رابطه‌های (۱-۵) محاسبه شده، که نتایج این محاسبات در جداول (۱۶ تا ۲۲) آورده شده است.

برآورد احتمال وقوع اموج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف / ۶۱

جدول (۲) مقدار احتمال حالت‌های انتقال شرطی موج گرمایی ایستگاه کرمان

P11	P10	P01	P00	
٪۷۰	۳۰٪	٪۴	٪۹۶	آوریل
٪۶۱	۹٪۳	٪۳	٪۹۷	می
٪۵۶	۴۴٪	٪۴	٪۹۶	ژوئن
٪۵۹	٪۴۱	٪۲	٪۹۸	ژولای
٪۶۵	٪۳۵	٪۲	٪۸۸	آگوست
٪۲۳	٪۷۷	٪۲	٪۹۸	سپتامبر

جدول (۳) مقدار احتمال حالت‌های انتقال شرطی موج گرمایی در ایستگاه سیرجان

P11	P10	P01	P00	
٪۶۹	٪۳۱	٪۲	٪۹۸	آوریل
٪۵۷	٪۴۳	٪۱	٪۹۹	می
٪۶۴	٪۳۶	٪۱	٪۹۹	ژوئن
٪۶۱	٪۳۹	٪۲	٪۹۸	ژولای
٪۵۲	٪۴۸	٪۳	٪۹۷	آگوست
٪۶۷	٪۳۳	٪۳	٪۹۸	سپتامبر

جدول (۴) مقدار احتمال حالت‌های انتقال شرطی موج گرمایی در ایستگاه شهر بابک

P11	P10	P01	P00	
٪۷۲	٪۲۸	٪۱	٪۹۹	آوریل
٪۷۰	٪۳۰	٪۲	٪۹۸	می
٪۶۲	٪۳۸	٪۱	٪۹۹	ژوئن
٪۴۴	٪۳۶	٪۱	٪۹۹	ژولای
٪۵۲	٪۴۸	٪۱	٪۹۹	آگوست
٪۲۰	٪۸۰	٪۱	٪۹۹	سپتامبر

جدول (۵) مقدار احتمال حالت‌های انتقال شرطی موج گرمایی در ایستگاه انار

	P11	P10	P01	P00	
آوریل	%۵۸	%۴۲	%۲	%۹۸	
می	%۶۳	%۳۷	%۱	%۹۹	
ژوئن	%۷۳	%۲۷	%۱	%۹۹	
ژولای	%۵۰	%۵۰	%۲	%۹۸	
آگوست	%۶۳	%۳۷	%۱	%۹۹	
سپتامبر	%۲۵	%۷۵	%۱	%۹۹	

جدول (۶) مقدار احتمال حالت‌های انتقال شرطی موج گرمایی در ایستگاه بم

	P11	P10	P01	P00	
آوریل	%۵۶	%۴۴	%۱	%۹۹	
می	%۶۰	%۴۰	%۱	%۹۹	
ژوئن	%۵	%۵	%۱	%۹۹	
ژولای	%۶۰	%۴۰	%۱	%۹۹	
آگوست	%۲۳	%۸۷	%۱	%۹۹	
سپتامبر	%۳۴	%۶۶	%۱	%۹۹	

جدول (۷) فراوانی موج گرمایی n روزه برآورد شده در ایستگاه کرمان

n	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر
۱	۶۲۸	۶۲۱	۷۶۷	۴۹۲	۴۶۶	۵۸۱
۲	۴۳۹	۳۷۹	۴۳۰	۲۹۱	۳۰۳	۱۳۴
۳	۳۰۸	۲۳۱	۲۴۱	۱۷۲	۱۹۷	۳۱
۴	۲۱۵	۱۴۱	۱۳۵	۱۰۱	۱۲۸	۸
۵	۱۵۱	۸۶	۷۶	۶۰	۸۴	۲
۶	۱۰۶	۵۳	۴۳	۳۶	۵۴	۱
۷	۷۴	۳۲	۲۴	۲۱	۳۶	۱
۸	۵۲	۲۰	۱۴	۱۳	۲۳	۱
۹	۳۷	۱۲	۸	۸	۱۵	۱

برآورد احتمال وقوع اموج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف / ۶۳

جدول (۸) فراوانی موج گرمایی n روزه برآورد شده در ایستگاه سیرجان

n	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر
۱	۴۴۵	۲۹۷	۲۸۷	۴۸۴	۶۷۶	۴۴۰
۲	۳۰۷	۱۷۰	۱۸۴	۲۹۵	۳۵۲	۲۹۵
۳	۲۱۲	۹۷	۱۱۸	۱۸۰	۱۸۳	۱۹۷
۴	۱۴۷	۵۵	۷۶	۱۱۰	۹۵	۱۳۲
۵	۱۰۱	۳۲	۴۸	۶۷	۵۰	۸۹
۶	۷۰	۱۸	۳۱	۴۱	۲۶	۶۰
۷	۴۸	۱۱	۲۰	۲۵	۱۴	۴۰
۸	۳۴	۶	۱۳	۱۶	۷	۲۷
۹	۲۳	۴	۹	۱۰	۴	۱۸

جدول (۹) فراوانی موج گرمایی n روزه برآورد شده در ایستگاه شهر بابک

n	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر
۱	۲۷۰	۴۴۰	۲۸۴	۲۸۷	۳۰۳	۲۹۹
۲	۱۹۵	۳۰۸	۱۷۶	۱۸۴	۱۹۴	۱۶۷
۳	۱۴۰	۲۱۶	۱۸۰	۱۱۸	۱۲۴	۹۴
۴	۱۰۱	۱۵۱	۶۸	۷۶	۸۰	۵۳
۵	۷۳	۱۰۶	۴۲	۴۸	۵۱	۳۰
۶	۵۳	۷۴	۲۶	۳۱	۳۳	۱۷
۷	۳۸	۵۲	۱۷	۲۰	۲۱	۱۰
۸	۲۷	۳۷	۱۰	۱۳	۱۴	۶
۹	۲۰	۲۶	۷	۹	۹	۳

جدول (۱۰) فراوانی موج گرمایی n روزه برآورد شده در ایستگاه انار

n	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر
۱	۴۹۶	۲۷۹	۲۶۸	۵۲۳	۲۸۹	۱۸۳
۲	۲۸۸	۱۸۹	۱۹۵	۲۶۲	۱۸۲	۱۹
۳	۱۶۷	۱۱۵	۱۴۲	۱۳۱	۱۲۵	۲
۴	۹۷	۷۶	۱۰۴	۶۶	۷۲	۱
۵	۵۷	۴۶	۷۶	۳۳	۴۶	۱
۶	۳۳	۲۹	۵۶	۱۷	۲۹	۱
۷	۱۹	۱۸	۴۸	۹	۱۸	۱
۸	۱۱	۱۲	۳۰	۵	۱۲	۱
۹	۷	۸	۲۲	۳	۸	۱

جدول (۱۱) فراوانی موج گرمایی n روزه برآورد شده در ایستگاه بم

n	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر
۱	۲۹۹	۲۳۹	۱۸۲	۲۳۹	۲۹۵	۲۷۰
۲	۱۶۷	۱۷۶	۱۶۵	۱۷۶	۱۷۴	۱۹۵
۳	۹۴	۱۰۶	۱۴۹	۱۰۶	۱۰۳	۱۴۰
۴	۵۳	۶۴	۱۳۴	۶۴	۶۱	۱۰۱
۵	۳۰	۳۸	۱۲۰	۳۸	۳۶	۷۳
۶	۱۷	۲۳	۱۰۸	۲۳	۲۲	۵۳
۷	۱۰	۱۴	۹۸	۱۴	۱۳	۳۸
۸	۶	۹	۸۸	۹	۸	۲۷
۹	۳	۵	۷۹	۵	۵	۲۰

برآورد احتمال وقوع اموج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف / ۶۵

جدول (۱۲) دوره برگشت وقوع موج گرمایی n روزه برآورد شده ایستگاه کرمان

n	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر
۱	۸	۸	۸	۱۲	۱۲	۲۷
۲	۱۱	۱۵	۱۵	۲۱	۱۸	۱۱۹
۳	۱۷	۲۵	۲۷	۳۶	۲۸	۵۱۷
۴	۲۴	۴۲	۴۸	۶۱	۴۴	۲۲۵۰
۵	۳۴	۶۹	۸۶	۱۰۴	۶۷	۹۷۸۶
۶	۴۹	۱۱۴	۱۵۴	۱۷۶	۱۰۴	۴۲۵۴۸
۷	۷۰	۱۱۷	۲۷۶	۲۰۸	۱۶۰	۱۸۴۹۹۲
۸	۱۰۱	۳۰۷	۴۹۳	۵۰۶	۲۴۶	۸۰۴۳۱۸
۹	۱۴۴	۵۰۴	۸۸۱	۸۰۸	۳۷۹	۳۴۹۷۰۳۹

جدول (۱۳) دوره برگشت وقوع موج گرمایی n روزه برآورد شده ایستگاه سیرجان

n	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر
۱	۱۱	۲۱	۱۱	۱۲	۱۰	۱۱
۲	۱۷	۳۷	۳۱	۲۰	۲۰	۱۷
۳	۲۵	۶۶	۴۸	۳۳	۳۸	۲۶
۴	۳۶	۱۱۶	۷۶	۵۴	۷۴	۳۹
۵	۵۲	۲۰۴	۱۱۹	۸۹	۱۴۲	۵۹
۶	۷۶	۳۵۹	۱۱۵	۱۴۶	۲۷۳	۸۸
۷	۱۱۰	۶۳۰	۲۹۰	۲۴۰	۵۲۶	۱۳۲
۸	۱۶۰	۱۱۰۶	۴۵۲	۳۹۴	۱۰۱۳۰	۱۹۷
۹	۲۳۲	۱۹۴۰۶	۷۰۹	۶۴۶	۱۹۴۸	۲۹۵

جدول (۱۴) دوره برگشت وقوع موج گرمایی n روزه برآورد شده ایستگاه شهر بابک

n	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر
۱	۱۸	۱۱	۲۰	۱۹	۲۳	۲۱
۲	۲۶	۱۷	۳۲	۳۱	۴۴	۳۹
۳	۳۶	۲۴	۵۳	۴۸	۸۵	۶۹
۴	۵۰	۳۴	۸۵	۷۶	۱۶۵	۱۲۴
۵	۷۰	۴۹	۱۳۷	۱۱۹	۳۱۷	۲۲۲
۶	۹۷	۷۰	۱۲۲	۱۸۵	۶۱۱	۳۹۷
۷	۱۳۵	۱۰۱	۳۵۸	۲۹۰	۱۱۷۳	۷۱۰
۸	۱۸۷	۱۴۴	۵۷۸	۴۵۳	۲۲۶۰	۱۲۶۸
۹	۲۶۰	۲۰۶	۹۳۳	۷۰۱	۴۳۴۶	۲۲۶۵

جدول (۱۵) دوره برگشت وقوع موج گرمایی n روزه برآورد شده ایستگاه انار

n	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر
۱	۲۱	۲۰	۱۸	۱۴	۲۰	۲۰۲
۲	۲۱	۳۲	۲۵	۲۸	۳۲	۲۰۴
۳	۳۷	۵۰	۳۵	۵۶	۵۰	۲۰۶
۴	۶۵	۸۰	۴۸	۱۱۲	۸۰	۲۰۸
۵	۱۱۲	۱۲۷	۶۶	۲۲۴	۱۲۷	۲۱۰
۶	۱۹۳	۲۰۳	۹۰	۴۴۸	۲۰۳	۲۱۲
۷	۳۳۴	۳۲۲	۱۲۴	۸۹۶	۳۲۲	۲۱۴
۸	۵۷۶	۵۱۱	۱۶۹	۱۷۹۲	۵۱۱	۲۱۶
۹	۹۹۳	۸۱۲	۲۳۳	۳۵۸۴	۸۱۲	۲۱۸



برآورد احتمال وقوع اموج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف / ۶۷

جدول (۱۶) دوره برگشت وقوع موج گرمایی n روزه موج گرمایی برآورد شده ایستگاه بم

n	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر
۱	۱۸۲	۱۷۰	۲۰۳	۱۷۰	۱۷۳	۱۴۳
۲	۳۲۶	۲۸۴	۲۰۴	۲۸۴	۲۹۴	۱۹۹
۳	۵۸۲	۴۷۴	۲۰۶	۴۷۴	۴۹۸	۲۷۷
۴	۱۰۳۹	۷۹۰	۲۰۸	۷۹۰	۸۴۵	۳۵۸
۵	۱۸۵۷	۱۳۱۸	۲۱۰	۱۳۱۸	۱۴۳۲	۵۳۵
۶	۳۳۱۶	۲۱۹۶	۲۱۲	۲۱۹۶	۲۴۲۸	۷۴۳
۷	۵۹۲۱	۳۶۶۱	۲۱۴	۲۶۶۱	۴۱۱۷	۱۰۳۲
۸	۱۰۵۷۴	۶۱۰۲	۲۱۶	۶۱۰۲	۶۹۷۶	۱۴۳۴
۹	۱۸۸۸۳	۱۰۱۷۱	۲۱۸	۱۰۱۷۱	۱۱۱۲۵	۱۶۴۶۹

### ۳- تحلیل احتمالات و دوره تداوم به دست آمده از زنجیره مارکف

با تحلیل ویژگی‌های دوره‌های تداوم موج گرمایی شرایط پنج ایستگاه کرمان، سیرجان، شهر بابک، انار و بم با استفاده از روش مارکف بررسی شد که در این بخش به تحلیل آنها پرداخته شده است. احتمال‌های شرطی مرتبه اول دوره‌های همراه با موج این ایستگاه‌ها عمدتاً در محاسبات بعدی احتمالات مورد نیاز بوده اند. بیشترین حالت درصد فراوانی شرطی روزهای بدون موج مربوط به ماه ژولای ایستگاه بم است؛ با ۱۶٪ و کم‌ترین روزهای بدون موج مربوط به ایستگاه کرمان در ماه آوریل است؛ با ۱۴٪ فراوانی شرطی. همچنین، بیشترین فراوانی مربوط به حالت موج گرمایی پس از یک موج گرمایی دیگر مربوط به ماه آوریل ایستگاه کرمان با ۱۷٪ فراوانی شرطی و کمترین این حالت فراوانی شرطی مربوط به ماه سپتامبر ایستگاه‌های شهر بابک بم و انار است. البته، همان‌طور که قبلاً اشاره شد، کمترین رخداد امواج گرمایی در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در ماه - سپتامبر است. نتایج حاصل از این فراوانی‌ها نشان می‌دهد که تغییرات دمای حداکثر

در ایستگاه‌های مورد مطالعه تفاوت فاحشی با یکدیگر دارند که این امر خود متاثر از ناهمواری-ها و اقلیم محلی استان کرمان است؛ به طوری که نواحی شمال شرق و جنوب کرمان به علت کویری بودن دارای اقلیم گرم و خشک هستند؛ در حالی که نواحی مرکزی آن اطراف رشته کوه‌های هزار ولاله زار دارای اقلیم خنکتر و کوهستانی است. و این ویژگی سبب تفاوت دمای حداکثر در سطح استان شده است. با استفاده از جداول (۲ تا ۶) و روابط (۵ و ۶) احتمال هر یک از حالت‌های چهارگانه ذکر شده محاسبه گردید و نشان داد که بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه احتمال حالت  $p=00$ ؛ یعنی یک حالت بدون موج گرمایی را به- صورت بیشترین درصد تجربه کرده اند، و بیشترین احتمال یک روز بدون موج که پس از آن یک موج گرمایی رخ دهد، به ایستگاه کرمان در ماه‌های آوریل و ژوئن با احتمال ۴٪ مربوط است. احتمال این حالت بین ۱٪ تا ۴٪ در بین ایستگاه‌ها متغیر می باشد. که کمترین حالت رخ داده در بین چهار حالت ذکر شده است. همچنین، بیشترین احتمال اینکه پس از یک روز همراه با موج، یک روز بدون موج واقع شود، در ایستگاه بم در ماه آگوست است. اما اصلی ترین احتمال این حالت‌ها که می تواند مشکلاتی همراه داشته باشد، وجود پیوسته موج گرمایی به صورت چند روز پی در پی می باشد. که این حالت در سه ایستگاه کرمان، سیرجان و شهر بابک در ماه آوریل بیشترین رخداد را داشته است. اگر بخواهیم این حالت را به صورت فراگیر در کل ایستگاه‌ها مقایسه کنیم، در ماه آوریل با ۲۰٪ و سپتامبر با ۱۰٪ به ترتیب بیشترین و کمترین در صد موج گرمایی را به خود اختصاص داده‌اند.

#### ۴- برآورد دوره تداوم و دوره بازگشت n روزه در ایستگاه‌ها

در این مرحله دوره‌های تداوم و دوره برگشت هر یک از حالت‌ها را با استفاده از فرمول‌های (۷ و ۸) محاسبه و نتایج آنها در جداول (۷ تا ۱۶) آورده شده است. دوره تداوم امواج گرمایی ۱ تا ۹ روزه برای ۶ ماه از سال در تمام ایستگاه‌ها محاسبه شده؛ مثلاً

برآورد احتمال وقوع اموج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف / ۶۹

حداکثر موج گرمایی ۱ روزه در کل منطقه مورد مطالعه در ایستگاه کرمان ۷۶۷ روزه برآورد شده است. همان طور که قبلاً ذکر شد، بیشترین موج گرمایی پیوسته چند روزه در ماه آوریل رخ داده، در این مورد هم بیشترین موج گرمایی ۹ روزه در ماه آوریل در ایستگاه کرمان با تداوم ۲۳ روزه برآورد شده است. عمده‌ترین مشکلی که در رابطه با موج گرمایی ذکر شد، مشکلاتی است که در رابطه؛ تداوم بلند مدت موج گرمایی در یک محل رخ می‌دهد؛ بطوری که تغییر چند روزه در اقلیم یک محل، باعث زیان رساندن به سلامت انسان‌ها، اختلال در صنایع، افزایش تبخیر و تعرق و به طور کلی، اختلال در زیست محیط یک ناحیه خواهد شد (کوپه، ۲۰۰۴، ۵۵). بنابراین، محاسبه دوره‌های تداوم بلند مدت موج گرمایی و دوره بازگشت آنها در سطح استان بسیار حایز اهمیت است. دوره بازگشت دوره‌های همراه با موج گرمایی با استفاده از رابطه (۸) برای ماه‌های مورد مطالعه محاسبه شد که نتایج آن در جداول (۱۲ تا ۱۶) آورده شده است. دوره بازگشت موج گرمایی ۹ روزه در ماه آوریل ایستگاه کرمان ۱۲ سال است. هر چه تداوم دوره‌ها بیشتر باشد، دوره بازگشت آنها نیز طولانی‌تر می‌شود. این روند را در مورد تمام ماه‌ها و ایستگاه‌ها می‌توان شاهد بود. همچنین، دوره بازگشت موج گرمایی  $n$  روزه در ماه سپتامبر تمام ایستگاه‌ها بسیار طولانی است. با استفاده از اطلاعات دوره بازگشت محاسبه شده در جداول مذکور می‌توان برنامه‌ریزی و راهکارهای مناسبی برای جلوگیری از زیان‌های احتمالی موج گرمایی بلند مدت در سطح استان اندیشید.

### بحث و نتیجه‌گیری:

برای بررسی شرایط کلی موج گرمایی حاکم بر منطقه، از داده‌های روزانه حداکثر دمای ایستگاه‌های همدید استان کرمان استفاده گردید. پس از مشخص شدن ویژگی‌های سال‌های مورد مطالعه (۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵) خصوصیات دوره‌های همراه با موج گرمایی با استفاده از شاخص آماری تعیین گردید، که این مطالعه برای مسائل کشاورزی، از جمله

دوره‌های آبیاری محصولات زراعی، همچنین، سلامت انسان و برنامه‌ریزی در جهات مختلف در سطح استان مفید است. با بررسی‌های انجام شده، مشخص گردید که بیشترین موج گرمایی رخ داده در سطح منطقه - چه به صورت کوتاه مدت و چه به صورت بلند مدت - در ماه‌های می و اگوست بوده است. همچنین سال ۲۰۰۰ بیشترین فراوانی موج گرمایی در سطح منطقه مورد نظر رخ داده که گرمترین آن سال دوره آماری شناخته شد. پس از تعیین ویژگی‌های موج گرمایی با استفاده از زنجیره مارکف دوره تداوم و دوره بازگشت پدیده‌های رخ داده شناسایی شد. تحلیل نتایج حاصله از سری زمانی زنجیره مارکف نشان داد، که بیشترین موج گرمایی پیوسته چند روزه در ماه آوریل و کمترین موج گرمایی در ماه سپتامبر بوده است. نتایج کلی این تحلیل‌ها در جداول فوق نشان داده شده، با استفاده از این جداول دوره تداوم و دوره بازگشت  $n$  روزه محاسبه شده موج گرمایی در دوره گرم سال، سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌توان راهکارها و برنامه‌ریزی‌های برای جلوگیری از وارد نمودن خسارت طراحی نمود.

#### منابع

- ۱- آشگر طوسی، شادی، علیزاده، امین و جوانمرد، سهیلا. (۱۳۸۰). پیش‌بینی وقوع خشکسالی در استان خراسان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره مقاله، ۵۲۸، صص ۱۲۰-۱۲۸.
- ۲- حجازی زاده، زهرا و شیر خانی علیرضا. (۱۳۸۲). تحلیل و پیش‌بینی آماری خشکسالی و دوره‌های خشک کوتاه مدت در استان خراسان. پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۵۲، صص ۱۳-۳۱.
- ۳- حجام، سهراب، و یوسفی، نصرت... (۱۳۸۶). «برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از زنجیره مارکف و توزیع نرمال»، پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۶۰، صص ۱۲۱-۱۲۸.
- ۴- حقیقت جو، پرویز و شامحمدی حیدری. (۱۳۸۱). «کاربرد زنجیره مارکف در بررسی خشکسالی و ترسالی منطقه سیستان با توجه به دبی رودخانه هیرمند»، کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، زابل.
- ۵- جعفری بهی، خدابخش. (۱۳۸۷). تحلیل آماری دوره‌های تر و خشک بارندگی در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از زنجیره مارکف، پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، تهران.
- ۶- مسعودیان، ابوالفضل. (۱۳۸۳). بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته، مجله جغرافیا و توسعه، صص ۸۹-۱۰۶.
- ۷- مسعودیان، ابوالفضل. (۱۳۸۷). اقلیم شناسی ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان، سال ۱۳۸۷، صص ۶۴-۶۵.

- 8- Argaud, Laurezt and etal,(2007); **Short- and Long-term Outcomes of Heatstroke Following the 2003 Heat Wave in Lyon, France**, Arch Intern Med. 2007;167(20):2177-2183
- 9- Auroop R, and etal.(2009); **Higher trends but larger uncertainty and geographic variability in 21st century temperature and heat waves**, PNAS, vol. 106, no. 37, 15555–15559
- 10-Baldi, Marina and etal(2004) **Heat Wave in The Mediterranean Region Analysis and Model Results** ,institute of biometeorology –CNR.ROM.ITALY  
No,10
- 11-Colacino, m (1995) **Heat wave in the Central Mediterranean** A Synoptic Climatology institued di fisica dell' Atmospheric fear (CNR) Roma .Italy.vol.18c.3
- 12-Diaz, Julio, Cristina, Linares and Aurelio, Toby's (2006) **A Critical comment on heat Wave response plans**. European Journal of publication health vole, 16 no: 6, 600
- 13- E. McKechnie, Andrew and Blair O. Wolf (2009); **Climate change increases the likelihood of catastrophic avian mortality events during extreme heat waves**, Biol. Lett. Published online doi: 10.1098/rsbl.2009.0702
- 14- Fujibe, fumiaki (2004) **Long-Term Changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan**, papers meteorology and geophysics vol.58,63-72
- 16-Koppe, Christina, Sari Kovats, Gerd Jendritzky and Bettina Mennen (2004) **Health and Global Environmental Change** ,publication, WHO, Regional office for Europe scherfigsvej 8 ,DK 2004 Copenhagen, Denmark's 6
- 17- Kozlowski, Daniel R (2007); **An Analysis and Summary of the July 2006 Record-Breaking Heat Wave Across the State of California**, Western Region Technical Attachment, No. 07-05
- 18- Martin vide, J., Gomez, L(1998) **Regionalization of peninsular Spain based on the length of dry spells**, International Journal of climatology. 19,537-555
- 17- Maxwel, Brandt I (2007); **Analysis of the 22-23 July 2006 Extreme Heat In San Diego County**, Western Region Technical Attachment, No. 07-04,61-72
- 19- Tamranzian. Arbi, and etal,(2008); **Heat Waves in Southern California: Are They Becoming More Frequent and Longer Lasting?**, APCG YEARBOOK • Volume 70 • 2008
- 20- Welbergen A. Justi , and etal, (2007); **Climate change and the effects of temperature extremes on Australian flying-foxes**, Proceeding of The Royal Society, Proc. R. Soc. B 2008 275, 419-425