

## بررسی همدیدی موج گرمای آوریل ۲۰۰۸ ایران

هنگامه شیراوند<sup>۱\*</sup>، فرشته رضایی<sup>۲</sup>، علیرضا شکیبا<sup>۳</sup>

۱-دانشجوی دکتری آب و هواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران،

۲-دانشجوی دکتری آب و هواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران،

۳-علیرضا شکیبا، دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۰۱، تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۱۰)

### چکیده

در این تحقیق به شناسایی و علت وقوع موج گرمای آوریل ۲۰۰۸ به عنوان یکی از فراگیرترین امواج گرمایی در ایران پرداخته می‌شود. از آنجائی که شناخت عمیق چنین پدیده‌هایی فقط با استفاده از داده‌های زمینی امکان‌پذیر نمی‌باشد، لذا بررسی شرایط همدیدی و عوامل مؤثر جوی بیش از پیش ضروری است. جهت مطالعه همدیدی چگونگی رخداد موج گرمای موردنظر، داده‌های باز کاوی شده ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح دریا، دمای هوا و همچنین مؤلفه نصف‌النهاری و مداری باد در سطوح مختلف با قدرت تفکیک ۲/۵ در ۲/۵ درجه اخذ گردید و در گام بعد، نقشه‌های میانگین و آنومالی فشار و ارتفاع ژئوپتانسیلی در ترازهای مختلف، فرارفت هوای گرم و نقشه‌ی ضخامت با استفاده از نرم افزار GrADS رسم شد. نتایج بررسی همدیدی نشان داد که وجود کم‌فشار حرارتی در سطح زمین و استیلای پرفشار جنب حاره عامل اصلی این موج گرما بوده است. شکل‌گیری مرکز کم‌فشار حرارتی در تراز پایینی جو بر روی سودان و گسترش زبانه‌های آن از سمت جنوب و جنوب غربی بر روی ایران، باعث مکش هوای گرم و خشک مناطق بیابانی مانند عربستان و عراق به سمت ایران می‌شود. از طرفی پرفشار جنب حاره که از نوع هسته گرم می‌باشد، وقتی در سطوح میانی تروپوسفر شکل می‌گیرد بر اثر فرونشینی هوا در داخل آن، دما به مقدار زیادی افزایش می‌یابد. در نتیجه این شرایط انباشت گرما شکل می‌گیرد و تداوم آن برای چند روز موجب شکل‌گیری موج گرمای طولانی مدت با دمای بالا می‌شود. بر اساس بررسی آماری پدیده مذکور، روز ۲۷ آوریل به عنوان روز اوج و روزهای ۲۶ و ۲۷ به ترتیب با دماهای ۳۲،۰۹ و ۳۲،۱۷ درجه سانتی‌گراد به عنوان گرم‌ترین و روز ۲۲ آوریل ۲۰۰۸ با دمای ۲۷،۰۱ درجه سانتی‌گراد به عنوان سردترین روز شناخته شدند. طی این دوره گرمایی، آستانه دمایی در مناطق مختلف کشور از ۱۶ تا ۴۱ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده است. و بیشترین مساحت کشور دارای آستانه دمایی بین ۳۶-۴۱ و ۳۱-۳۶ درجه سانتی‌گراد است.

**کلمات کلیدی:** موج گرما، همدید، پرفشار جنب حاره، کم‌فشار حرارتی، ایران

### مقدمه

اخیر بسیاری از مطالعات تغییرات آب و هوایی بر روی دماهای حداکثر تمرکز داشته‌اند زیرا این متغیر تأثیر قابل توجهی بر روی محیط و جامعه می‌گذارد. در میان رویدادهای آب و هوایی که توسط دماهای حداکثر ایجاد شده، موج گرما از مضرترین این پدیده‌ها بشمار می‌رود (کرویتورو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). آن‌ها اغلب با بلاای متعدد مؤثر بر جامعه از نظر سلامت و مرگ و میر، کیفیت آب، سیستم‌های مهندسی، تولید

تغییر اقلیم نه تنها باعث افزایش میانگین دما شده بلکه به تکرار بیشتر رویدادهای آب و هوایی شدید و سخت مانند امواج گرما (میل<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴) و خشک‌سالی منجر می‌شود (کوک<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). یکی از رخدادها اصلی و بسیار مهم گرمایش جهانی و تغییر آب و هوا در سال‌های اخیر افزایش وقوع مخاطره اقلیمی امواج گرمایی در نواحی مختلف اقلیمی دنیا است (اسماعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). در دو دهه

<sup>3</sup> Croitoru

<sup>1</sup> Meehl

<sup>2</sup> Cook

پدیده‌ی آب و هوایی فرین به‌ویژه امواج گرمایی، انجام گرفته است (اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). از جمله این تحقیقات که در سطح جهان در زمینه شناسایی امواج گرما صورت گرفته می‌توان به مطالعه سالوچی<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۶) اشاره کرد، ایشان موج گرمای ژانویه ۲۰۰۳ در آمریکای جنوبی را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که وجود جوی پایدار و فرارفت دما و رطوبت، عامل ایجاد و تشدید موج گرمایی شده است. تئوهاراتوس<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰) نیز موج گرمایی شدید سال ۲۰۰۷ یونان را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند. این مطالعه نشان داد که وقوع پدیده بلو کینگ موجب پایداری هوا شده است.

در ایران نیز منظری و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از تحلیل همدید گرمای فرین استان اصفهان در اسفند ۱۳۸۲ با استفاده از شاخص فومیکی نشان دادند 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.

بر اساس پژوهشی که زنگنه و همکاران (۱۳۹۴) انجام دادند ایران در سال ۲۰۰۸ دچار خشک‌سالی شدیدی بوده است و این وضعیت را ناشی از ترکیب واچرخند عربستان و واچرخند شمال آفریقا دانستند که در این زمان امتداد پشته، بر روی ایران و عربستان قرار گرفته و پایداری شدیدی در منطقه حاکم نموده است.

در مطالعات آماری همدیدی امواج گرما نیز بر تأثیر حضور پرفشار آزور در ترازهای بالا و کم‌فشار حرارتی در سطح زمین و تأثیر فرارفت هوای گرم عربستان تأکید شده است (چراغی، ۱۳۹۱، هدایتی زاده، ۱۳۹۴، سپه‌وند، ۱۳۹۳).

کاهش پیامدهای ناشی از امواج گرمایی در گرو شناسایی عوامل ایجاد کننده امواج و شناسایی رفتارهای اقلیمی امواج گرما است. از جهتی پیش‌بینی و برآورد احتمالات رخداد امواج گرما می‌تواند به عنوان یک سیستم هشدار دهنده

محصولات کشاورزی، صنعت خرده فروشی، خدمات اکوسیستم، گردشگری و ... همراه هستند (لیو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). در سال‌های اخیر مناطق زیادی از جمله جنوب آسیا، مرکز و جنوب شرق هند و بخش‌های مرکزی پاکستان شاهد تلفات زیادی ناشی از امواج گرما بوده‌اند (جاسوال<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). این امر باعث گردید که دولت‌های ملی و منطقه‌ای راهکارهای بسیاری نسبت به این بحران مانند حمایت از تحقیقات، هشدار گرما، فعال‌سازی شبکه‌های اجتماعی و بهداشت، آموزش عمومی و آماده کردن مردم برای سازگاری با گرم شدن کره زمین و غیره تدوین کنند (متیس<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۸).

اغلب موج گرما با استانداردهای متفاوت و بدون تعریف جهانی توصیف می‌شود و برخلاف تأثیرات ناسازگار، تعریف و اندازه‌گیری موج گرما، مبهم، متناقض و یا مخصوص آنالیز گزارش‌های مطالعاتی است (الماسی و همکاران، ۱۳۹۵).

به‌طور کلی موج گرما به عنوان دوره‌های از آب و هوای گرم و مرطوب یا گرم و خشک غیر معمولی تعریف می‌شود که آستانه دمایی آن از یک مقدار معین بالاتر رفته و حداقل ۲-۳ روز تداوم داشته باشد (مک‌گروگر<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۰: IPCC, 2012). بر اساس خروجی مدل‌های اقلیمی جهانی و منطقه‌ای، انتظار می‌رود که با تغییر آب و هوا، امواج گرمایی، در دهه‌های آتی بیشتر و شدیدتر رخ دهند (آمنگول<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). همان‌طور که یافته‌های مختلف نیز نشان دادند که فرکانس، مدت و شدت این رویدادها در بسیاری از مناطق روند افزایشی داشته است (روستی کیوچی<sup>۹</sup>، ۲۰۱۵).

بنابراین یکی از پیامدهای گرم شدن کره زمین افزایش تعداد امواج گرما می‌باشد، که به شکل پایداری طی دهه‌های گذشته ادامه داشته است (سنویراتنا<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به اهمیت این مسئله، امروزه شناسایی، تحلیل تغییرات و پیش‌بینی وقوع امواج گرمایی اهمیت زیادی یافته است. بطوریکه فعالیت‌های پژوهشی زیادی از قرن بیستم به بعد با تمرکز بر

<sup>8</sup> Amengual

<sup>9</sup> Rusticucci

<sup>10</sup> Seneviratne

<sup>11</sup> Selouchi

<sup>12</sup> Theoharatos

<sup>4</sup> Liu

<sup>5</sup> Jaswal

<sup>6</sup> Matthies

<sup>7</sup> McGregor

و شدت آن‌ها را مطرح می‌کند. بنابراین در این تحقیق تلاش گردید که به شناخت عوامل همبندی مؤثر در وقوع موج گرمای آوریل ۲۰۰۸ پرداخته شود.

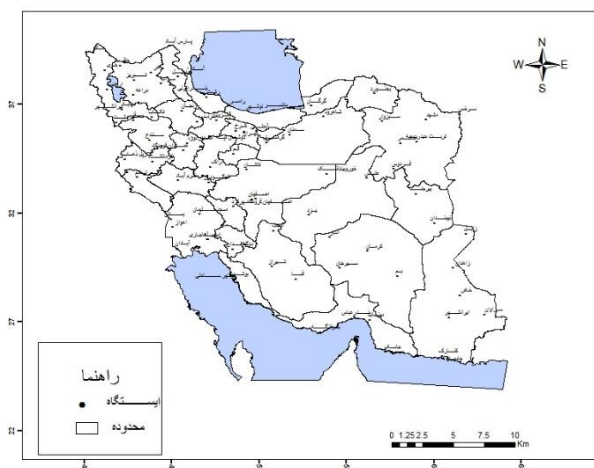
### مواد و روش‌ها

در این تحقیق ابتدا آمار دمای حداکثر روزانه ۹۰ ایستگاه (شکل ۱) طی دوره آماری مشترک ۲۰۱۵-۱۹۸۶ از ماه‌های

آوریل تا سپتامبر (دوره گرم سال) از سازمان هواشناسی کشور به منظور بررسی آماری و تحلیل الگوهای همبندی به وجود آورنده امواج گرمایی، دریافت گردید. انتخاب ایستگاه‌ها بر اساس طولانی بودن و قرار گرفتن در یک دوره زمانی مشترک انجام شده است.

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 هم جهت با وضعیت آب و هوایی نقش قابل توجه و تعیین کننده‌ای دارد (الماسی و همکاران، ۱۳۹۵). به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی ایران، بخش وسیعی از کشور به‌ویژه در دوره گرم سال در دامنه نوسانات کمربند پرفشار جنب‌حاره‌ای قرار دارد. امروزه در بسیاری از منابع از پرفشار جنب حاره به مثابه سامانه‌ای مؤثر بر آب و هوای ایران که سبب تشدید خشک سالی‌ها و ایجاد خشکی و پایداری روی ایران خواهد شد نام برده شده است (زنکنه و همکاران، ۱۳۹۴، لشکری و محمدی، ۱۳۹۴). از جهتی روبرو بودن کشور با گرمایش جهانی و خشک‌سالی‌های اخیر از جمله حقایقی است که ضرورت شناخت عوامل مؤثر بر شکل‌گیری

شکل (۱): موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه



در این رابطه  $T$  دمای حداکثر روزانه و  $sd$  انحراف معیار داده‌ها

ب- شاخص صدک ۹۵: زمانی که دمای حداکثر روزانه مساوی و بزرگ‌تر از صدک ۹۵ داده‌های روزانه باشد و چند روز متوالی ادامه داشته باشد، موج گرم تعریف می‌کند.

ج- شاخص سازمان هواشناسی جهانی (WMO): موج گرما را بر این مبنای تعریف می‌کند که دمای حداکثر روزانه برای ۵

سپس با استفاده از ۴ شاخص جهانی (بالدی، صدک ۹۵، تعریف سازمان هواشناسی جهانی<sup>۱</sup> و شاخص فومیایکی<sup>۲</sup>) امواج گرمایی استخراج گردید. که در ادامه به این شاخص‌ها اشاره خواهد شد.

الف- شاخص بالدی: این شاخص با استفاده از رابطه زیر امواج گرمایی را شناسایی می‌کند.

$$T_{\max \text{ daily}} \geq T_{\text{mean max daily}} + 1.5 sd_{\max \text{ daily}}$$

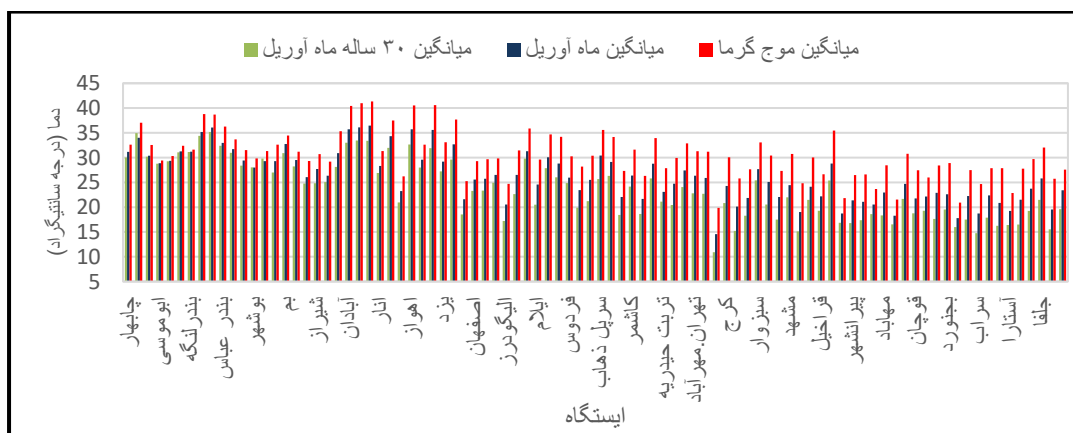
روز متوالی به میزان ۵ درجه سانتی گراد بالاتر از میانگین بلندمدت باشد.

د- نمایه‌ی انحراف بهنجار شده‌ی دما (NTD): این شاخص، تعداد روزهای متوالی با نمایه دمای بهنجار شده بالاتر از ۲ را موج گرما تعریف می‌کند. این شاخص‌ها نشان دادند که بیشتر امواج گرمایی در طی ۳۰ سال مورد مطالعه (۲۰۱۵-۱۹۸۶)، در ماه‌های آوریل و مه رخ داده است. همانطور که یزدان پناه و همکاران (۱۳۹۱) نیز با استفاده از مدل زنجیره مارکوف به این نتیجه رسیدند و نشان دادند که این تغییرات روندی افزایشی در طول دوره آماری داشته است. از بین امواج گرمایی رخ داده طی دوره آماری مورد مطالعه، موجی که در سال ۲۰۰۸ از روز ۲۲ تا ۳۰ آوریل اتفاق افتاده بود بر اساس ۳ معیار زیر به عنوان یکی از فراگیرترین و شاخص‌ترین امواج گرمایی، انتخاب و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

معیارهای تعیین موج‌های شاخص و فراگیر:

- افزایش دما، در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه بصورت هماهنگ رخ داده باشد.
- طول دوره موج، حداقل ۷ روز به طول انجامیده باشد، زیرا سیستم‌های سینوپتیکی عمری بین ۷ تا ۱۰ روز دارند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱)
- فاصله میانگین دمای طول دوره موج گرما بیشتر از میانگین ماهی که موج در آن واقع شده و همچنین بیشتر از میانگین ۳۰ ساله ماهی که موج در آن واقع شده است باشد (توحیدی زاده،

بود به دلیل اینکه از ۲۲ تا ۳۰ آوریل یعنی به مدت ۹ روز دوام داشت و بیش از ۹۵ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه را دربر می‌گرفت. و از سویی میانگین دمای طول دوره موج گرما نسبت به میانگین ماه آوریل و میانگین ۳۰ ساله آن بیشتر بوده است (شکل ۲) به عنوان موج شاخص و فراگیر شناخته شد. به دلیل زیاد بودن تعداد ایستگاه‌ها، فقط تعداد محدودی از آن‌ها در این نمودار نشان داده شده است. داده‌های دمای حداکثر معرف موج گرما که از روز ۲۲ تا ۳۰ آوریل سال ۲۰۰۸ که به مدت ۹ روز استمرار داشت مورد تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج مربوط به ویژگی‌های آماری دمای حداکثر روزانه ۹۰ ایستگاه منتخب در جدول شماره ۱ درج شده است. باید توجه داشت که مقادیر جدول فوق از مقدار متوسط دمای حداکثر کل ایستگاه‌ها برای دوره ۹ روزه محاسبه شده است. در طی موج گرمایی مذکور، روز ۲۷ آوریل به عنوان روز اوج انتخاب گردید زیرا در این روز از ۹۰ ایستگاه مورد مطالعه ۱۷۲ ایستگاه درگیر بودند. و روزهای ۲۶ و ۲۷ آوریل ۲۰۰۸ به ترتیب با دماهای ۳۲،۱۷ و ۳۲،۰۹ درجه سانتی گراد به عنوان گرم‌ترین و روز ۲۲ آوریل ۲۰۰۸ با دمای ۲۷،۰۱ درجه سانتی گراد به عنوان سردترین روز شناخته شدند. در این زمان آبعلی با متوسط دمای بیشینه ۱۹،۸۶ درجه سانتی گراد و امیدیه نیز با متوسط دمای حداکثر حدود ۴۱،۳۳ درجه سانتی گراد به ترتیب به عنوان خنک‌ترین و گرم‌ترین ایستگاه معرفی گردیدند. آستانه دمایی در مناطق مختلف کشور طی این دوره



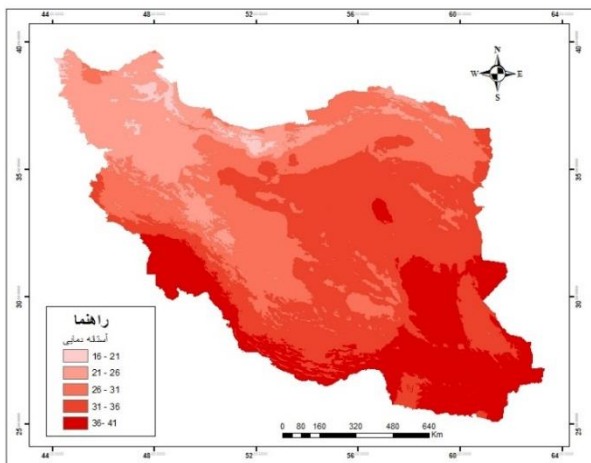
شکل (۲): سری میانگین دمای آوریل بلندمدت ۳۰ ساله، آوریل ۲۰۰۸ و میانگین دمای موج گرمای ۲۲ تا ۳۰ آوریل ۲۰۰۸

گرمایی ۹ روزه از ۱۶ تا ۴۱ درجه سانتی گراد متغیر بوده است.

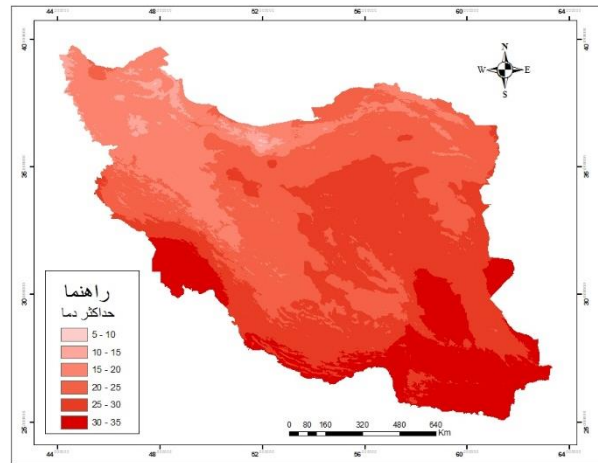
(۱۳۹۲). بنابراین موج گرمایی که در آوریل سال ۲۰۰۸ رخ داده

جدول ۱: شاخص‌های گرایش به مرکز و پراکندگی دمای حداکثر روزانه از ۲۲ تا ۳۰ آوریل ۲۰۰۸

شاخص	مقدار	شاخص	مقدار
میانگین	۳۰٫۵۸	دامنه	۲۱٫۴۶
میان	۳۰٫۲۷	انحراف معیار	۴٫۶۴
پیشینه	۴۱٫۳۳	چولگی	۰٫۲۶
کمینه	۱۹٫۸۶	چارک اول	۲۷٫۵۵
مد	۲۷٫۸۶	چارک سوم	۳۳٫۰۷



شکل (۴): آستانه دمایی مناطق مختلف کشور در زمان وقوع موج گرمایی ۲۰۰۸



شکل (۳): میانگین بلندمدت دمای حداکثر در مناطق مختلف کشور در ماه آوریل

همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود پایین‌ترین آستانه در طی این موج گرمایی مربوط به قسمت‌های ناچیزی از شمال و شمال غرب کشور است و بالاترین آستانه مربوط به قسمت‌های از جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق است. در واقع در این زمان بیشتر مساحت کشور دارای آستانه دمایی بین ۳۶-۳۱ و ۴۱-۳۶ درجه سانتی‌گراد است.

برای مطالعه همدیدی چگونگی رخداد موج گرمایی آوریل ۲۰۰۸، با مراجعه به وب‌سایت نوا داده‌های باز کاوی شده ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح دریا، دمای هوا و همچنین مؤلفه نصف‌النهاری و مداری باد در سطوح مختلف با قدرت تفکیک ۲٫۵ در ۲٫۵ درجه اخذ گردید و در گام بعد، نقشه‌های میانگین و آنومالی فشار و ارتفاع ژئوپتانسیلی در ترازهای مختلف، فرارفت هوای گرم و نقشه‌ی ضخامت با استفاده از نرم‌افزار GrADS رسم شد.

### نتایج و بحث

#### تحلیل همدیدی موج گرمایی آوریل ۲۰۰۸

بررسی شرایط همدید در تراز میانی جو هم‌زمان با رخداد موج گرما، بیانگر گسترش مکانی و اچرخند جنب‌حاره‌ای عربستان و اچرخند تبت روی ایران است (شکل ۵).

تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال لایه انتقالی از لایه وردسپهر متأثر از اغتشاشات و تلاطم‌های زمینی به لایه آزاد می‌باشد. بنابراین آرایش سامانه‌ها در این لایه به تبعیت از عمق تلاطم‌های لایه زیرین گاه از تلاطم‌های زیرین و گاه از الگوهای حاکم در لایه وردسپهر میانی متأثر می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میدان گسترده‌ای از زبانه و اچرخندی سرتاسر ایران را در بر گرفته است. این زبانه و اچرخندی ادغام دو و اچرخند

در این تراز، به تبعیت از نقشه ارتفاعی آن (شکل ۵. ب) که زبانه‌های از واچرخند عربستان به صورت پشته‌ی تا شمال کشور را در بر گرفته‌اند (بطوریکه که محور پشته بر روی ایران قرار دارد) و هوای گرم عربستان و عراق را به داخل ایران وارد می‌کنند، در قسمت‌های زیادی از کشور به ۹ درجه سانتی‌گراد رسیده است (شکل ۶. ب).

الگوی حاکم در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز هماهنگ با تراز زیرین خود نشان دهنده حاکمیت یک مرکز واچرخندی قوی بر روی عربستان و نفوذ زبانه این واچرخند بر روی ایران است (شکل ۵. الف). امتداد این شرایط تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان از حاکمیت یک جریان دینامیکی قوی و مداوم بر روی منطقه می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه شد این موج تا ۹ روز بر روی منطقه تداوم داشته است. تقریباً کل کشور در زیر هم‌ارتفاع ۵۸۲۰ ژئوپتانسیل متر قرار دارد که ارتفاع زیادی در این فصل از سال است. و بیانگر وجود یک جو گرم با جریانات فراز هنج قوی بر روی منطقه است. با حرکت شرقی پشته تا قسمت‌های مرکزی هند، زبانه گرم نیز حرکت سریعی به سمت شرق داشته و منطقه مورد مطالعه کاملاً تحت تأثیر زبانه گرم قرار دارد و دما در این تراز به نسبت سایر ترازها با اختلاف ۶ درجه کاهش را نشان می‌دهد. تغییرات دما در این تراز نسبت به ترازهای زیرین سیر نزولی داشته است ولی با توجه به شرایط موجود در این موج گرم فقط پایداری هوا تثبیت شده و وارونگی دمایی ملاحظه نمی‌شود (شکل ۶. الف).

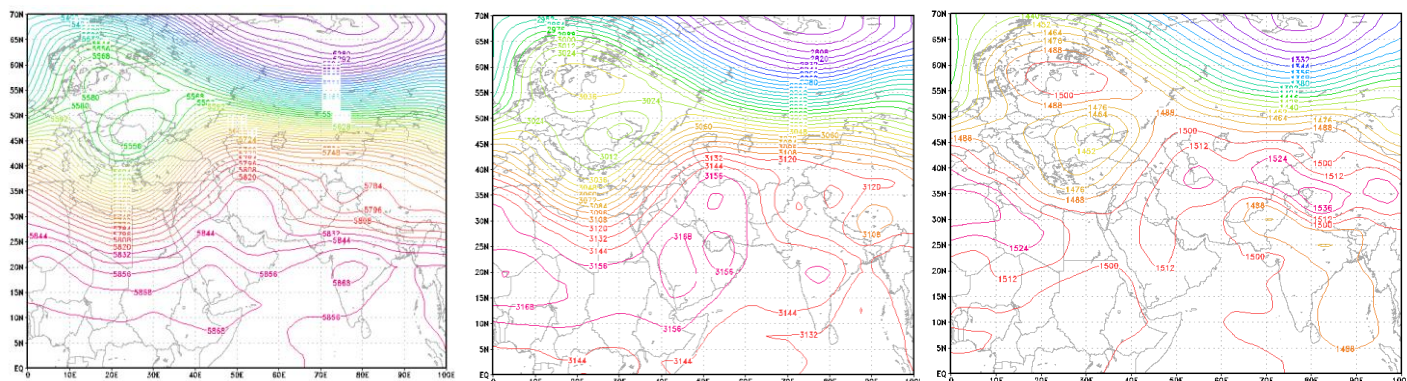
از دیگر نکاتی که نقشه‌های ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد این است که در این زمان یک پشته روی ایران شکل گرفته است وجود این پشته در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکالی مشخص‌تر و عمیق‌تر است. با تشکیل این پشته هوای گرم عربستان و عراق به سمت ایران جریان یافته است.

جنب‌حاره‌ای عربستان و واچرخند تب است که بصورت یک زبانه هلالی (کنتور ۱۵۱۲) با جهت جنوب غربی تمام ایران را فرا گرفته است و هسته پراتفماعی با ارتفاع ۱۵۲۴ ژئوپتانسیل متر بر روی شمال شرق و شرق دریای خزر ایجاد کرده‌اند (شکل ۵. ج). نقشه هم‌دمای این تراز نیز نشان دهنده وجود سه هسته گرمایی بر روی عربستان، پاکستان و هند می‌باشد. دمای هوا در درون هسته‌های گرم بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد است که در راستای جریانات جنوبی این گرما در لایه زیرین وردسپهر بر روی ایران فرارفت شده است. به طوری که کل کشور دمای بالای ۲۰ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده است (شکل ۶. ج). در این زمان وزش دمایی گرم (به مقدار ۶ درجه سانتی‌گراد) موجب ریزش دمای گرم عربستان و عراق به منطقه جنوب غرب و غرب ایران شده و موجب بالا رفتن شدید دما شده است (شکل ۷. ج).

شکل الگوی منحنی‌های هم‌ارتفاع، در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال، هسته‌های پراتفماعی بر روی مرکز ایران، خلیج فارس، عربستان و هند به ترتیب با ارتفاع‌های ۳۱۶۸، ۳۱۵۶، ۳۱۶۸ و ۳۱۵۶ ژئوپتانسیل متر را نشان می‌دهد که زبانه‌های آنها به شکل امگایی سراسر کشور را پوشانیده است. به طوری که کل کشور در دامنه هم‌ارتفاع ۳۱۵۶ ژئوپتانسیل متر قرار دارد (شکل ۵. ب). این ضخامت زیاد بیانگر حاکمیت یک جو پایدار و گرم بر روی این منطقه است. در این تراز واچرخند عربستان نقش اصلی را در کنترل جو ایران دارد. در این تراز دو هسته واچرخندی بر روی شبه‌جزیره عربستان تشکیل شده است که پشته حاصل از واچرخند دینامیکی با راستای جنوب غربی - شمال شرقی تقریباً کل کشور را فرا گرفته است. جریانات فراز هنج (حرکات بالا رونده)<sup>۱</sup> با گرمایش بی‌دررو دمای پتانسیلی منطقه را تشدید کرده و با غلبه جریانات نزولی ضمن ایجاد هوای صاف و پایدار، با از بین بردن تلاطم‌های لایه زیرین بر شدت گرمای فرارفتی لایه زیرین وردسپهر افزوده است. همان‌طور که نقشه فرارفت دمایی در این تراز نشان می‌دهد که در این زمان حدود ۸ درجه سانتی‌گراد فرارفت دمایی گرم صورت گرفته است (شکل ۷. ب). مقادیر دمایی

<sup>1</sup> Ascending movement

شکل (۵): الگوی متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای مختلف از ۲۲ تا ۳۰ آوریل ۲۰۰۸

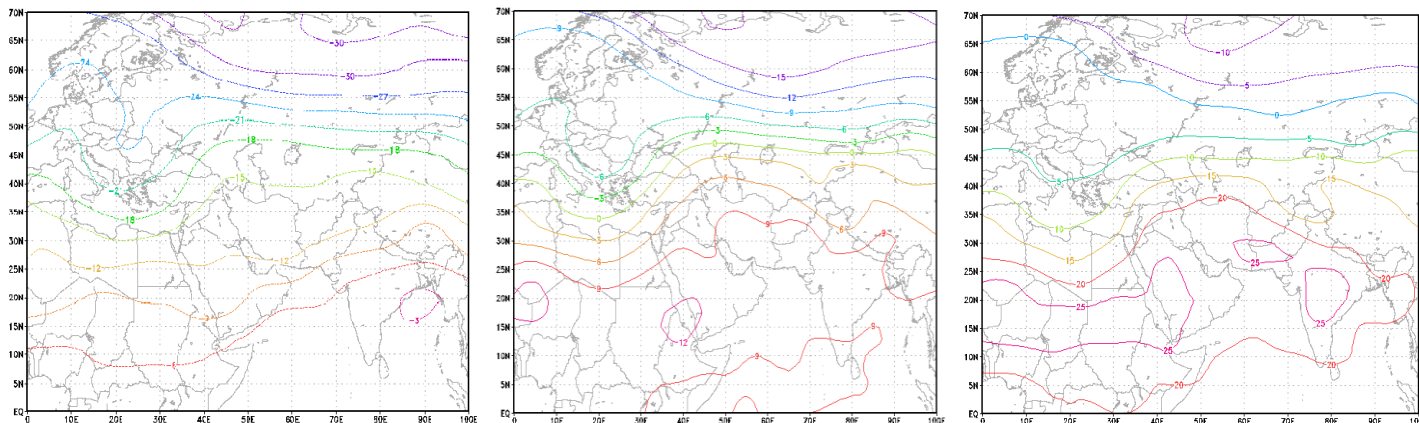


الف- تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

ب- تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

ج- تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

شکل (۶): مقادیر میانگین دما (به سانتی گراد) در ترازهای مختلف از ۲۲ تا ۳۰ آوریل ۲۰۰۸

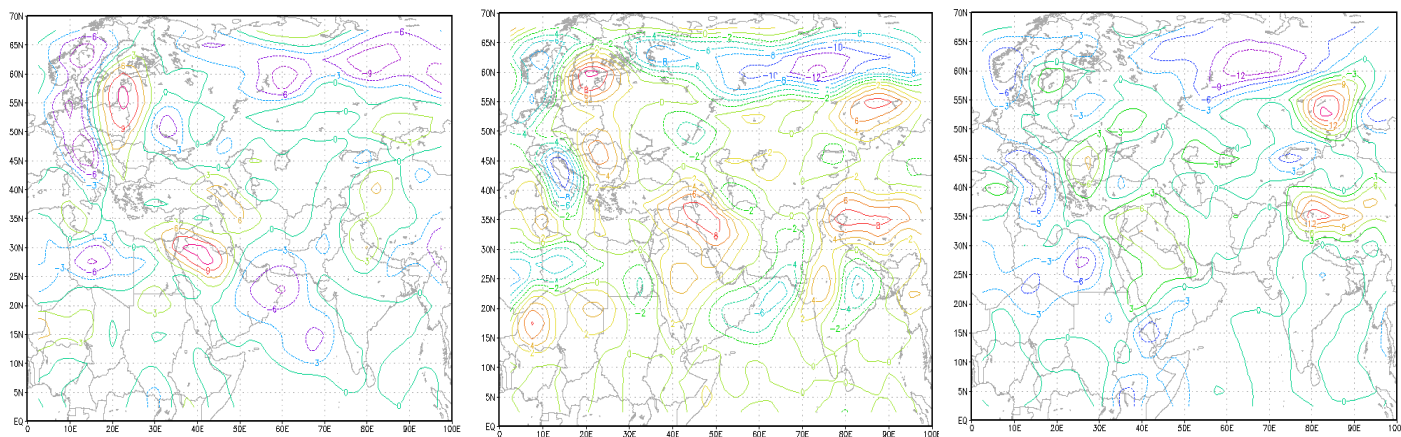


الف- تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

ب- تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

ج- تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

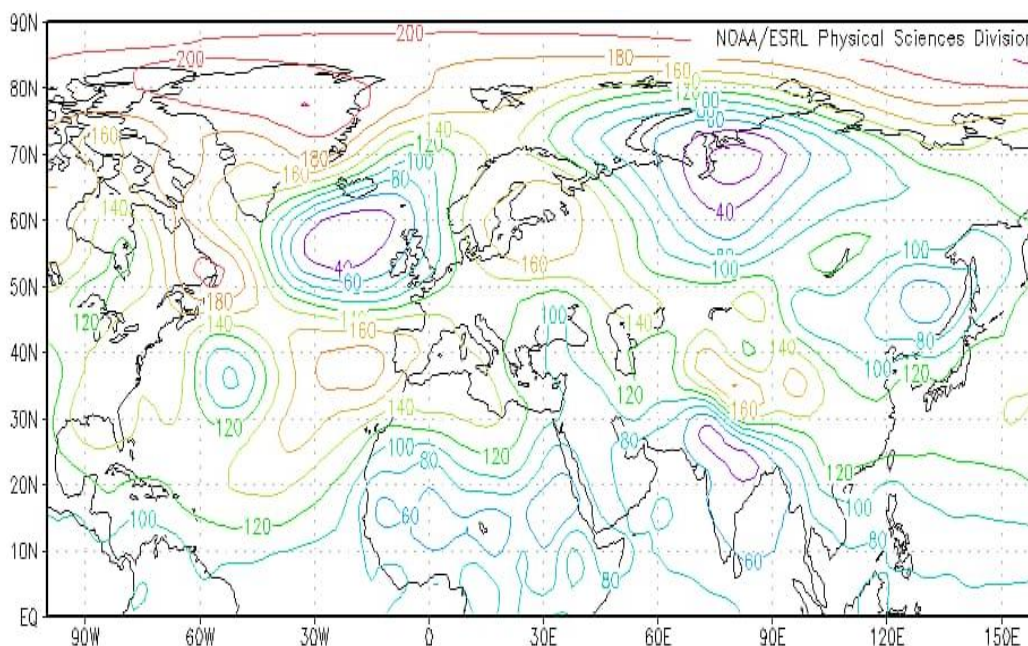
شکل (۷): مقادیر میانگین فرارفت دما (سلسیوس بر ساعت) در ترازهای مختلف از ۲۲ تا ۳۰ آوریل ۲۰۰۸



الف- تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

ب- تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

ج- تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

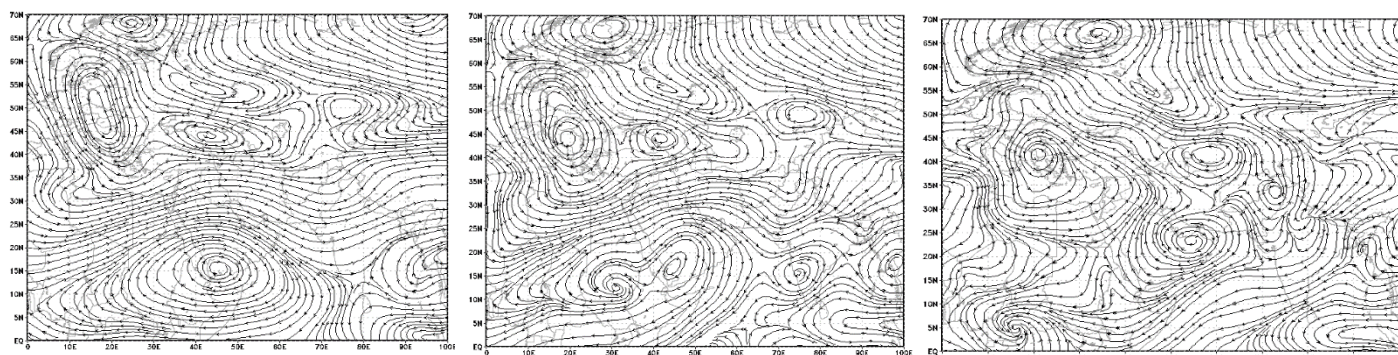


شکل (۸): الگوی متوسط توزیع فشار سطح 1000 از ۲۲ تا ۳۰ آوریل ۲۰۰۸

در تمام ترازها بر روی خشکی عربستان بوده و در جهت قائم این هسته به عرض‌های جنوبی‌تر تمایل پیدا می‌کند. این الگوی حاکم در نیم‌رخ قائم واچرخند بیانگر تقویت واچرخند از لحاظ دینامیکی می‌باشد. در عین حال فرارفت حاکم فرارفتی گرم و خشک است که بر شدت پایدار دینامیکی جو خواهد افزود.

نقشه‌های جریان ترازهای ۸۵۰ هکتوپاسکال تا ۵۰۰ هکتوپاسکال به خوبی شرایط شار دمایی را بر روی منطقه نشان می‌دهند (شکل ۹). در راستای شرایط همدیدی حاکم در این سه تراز، موقعیت استقرار مراکز واچرخندی، حاکمیت شارش جنوبی ماده و انرژی را از عرض‌های جنوبی بر روی ایران را نمایش می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود هسته واچرخندی

شکل (۹): الگوی متوسط خطوط جریان در ترازهای مختلف از ۲۲ تا ۳۰ آوریل ۲۰۰۸



الف = تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

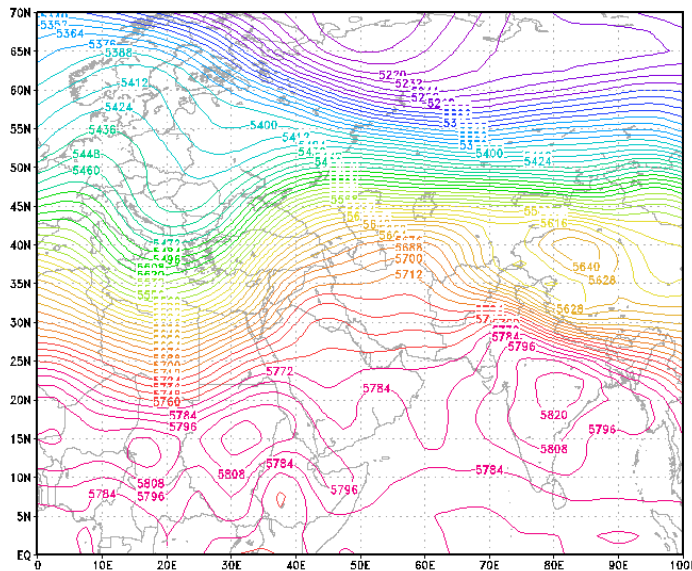
ب = تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

ج = تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال



است. همانطور که دیده می‌شود فاصله خطوط هم ضخامت در ایران از هم زیاد است که این امر خود نشان دهنده گرم بودن هوا در این منطقه است.

وضعیت جو در نقشه‌ی متوسط ضخامت (شکل ۱۰) نیز تأیید می‌کند که الگوی حاکم در طول موج گرمای موردنظر، استقرار پرفشار جنب حاره و گسترش زبانه‌های آن بر روی ایران می‌باشد که موجب نزول، فرونشینی و گرمایش هوا شده



شکل (۱۰): الگوی متوسط ضخامت جو (ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال) از ۲۲ تا ۳۰ آوریل ۲۰۰۸

وقوع موج گرما به عنوان یک شاخص حدی مضر و مؤثر بر پدیده‌های محیطی، به‌ویژه در این زمان از سال از برجسته‌ترین عواملی است که می‌تواند باعث شتاب دهی به فرایندهای مانند ذوب ذخایر برف در مناطق کوهستانی و در نتیجه کاهش ذخایر آب شیرین، تشدید خشک‌سالی‌ها و غیره شود. بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل سینوپتیکی موج گرمای آوریل ۲۰۰۸، می‌توان گفت گسترش پرفشار جنب‌حاره‌ای نقش بسیار مهمی در شکل‌گیری این موج گرما داشته است زیرا پرفشار جنب حاره از نوع هسته گرم می‌باشد و وقتی در سطوح میانی تروپوسفر شکل می‌گیرد بر اثر فرونشینی هوا در داخل آن، دما به مقدار زیادی افزایش می‌یابد. در این حالت چون لایه‌های میانی تروپوسفر نسبت به بقیه روزهای سال گرم‌تر شده صعود هوا از لایه‌های پایینی امکان‌پذیر نبوده و در نتیجه گرمای ناشی از شکل‌گیری مرکز کم‌فشار حرارتی سودان (گسترش زبانه‌های آن از سمت جنوب و جنوب غربی بر روی ایران باعث مکش هوای گرم و خشک مناطق بیابانی مانند عربستان و عراق

بنابراین شکل‌گیری و گسترش پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان در ترازهای بالایی جو، که نزول آدیاباتیکی هوا، پایداری و صافی آسمان را برای مناطق تحت تأثیر خود به ارمغان می‌آورد (قائمی و همکاران، ۱۳۸۸؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۴ و زنگنه و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین استقرار مرکز کم‌فشار حرارتی در تراز پایینی جو، بر روی سودان و گسترش زبانه‌های آن از سمت جنوب و جنوب غربی بر روی ایران که باعث مکش هوای گرم و خشک مناطق بیابانی مانند عربستان و عراق به سمت کشور می‌شود (پرک و همکاران، ۱۳۹۴). سبب پایداری، بالا رفتن غیرعادی دما، وقوع موج گرما، ایجاد خشکی و تشدید خشک‌سالی و ... بر روی ایران شده است.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشتر امواج گرمایی طی دوره‌ی مورد مطالعه، در فصل بهار به‌ویژه در ماه‌های آوریل و مه رخ داده است. این امر خود می‌تواند آثار مخربی بر روی جنبه‌های مختلف زندگی انسان و محیط‌زیست بر جای بگذارد. زیرا

بر اساس نتایج این تحقیق و مطالعاتی که دیگر محققین (چراغی، ۱۳۹۱؛ هدایتی زاده، ۱۳۹۴؛ سپه‌وند، ۱۳۹۳؛ لشکری و همکاران، ۱۳۹۴ و زنگنه و همکاران، ۱۳۹۴) انجام داده‌اند می‌توان گفت گسترش پرفشار جنب‌حاره‌ای آزور، عربستان و کم‌فشار حرارتی از علل اصلی وقوع موج گرما در کشور هستند. بنابراین با مطالعه و شناخت این عوامل و پیش‌بینی وقوع امواج گرمایی می‌توان تا حد زیادی از پیامدهای مخرب این پدیده کاست.

به سمت ایران می‌شود) با گرمای ناشی از جذب تابش خورشیدی با هم ترکیب شده و باعث افزایش غیرعادی دما می‌شود. بنابراین هوای گرم لایه پایینی علی‌رغم وجود شرایط کم‌فشار توان صعود و جا به جایی به ترازهای بالایی تروپوسفر را نداشته و این وضعیت باعث تشدید پایداری هوا می‌شود. در این حالت انباشت گرما شکل می‌گیرد و تداوم آن برای چند روز موجب شکل‌گیری موج گرمایی طولانی مدت با دمای بالا می‌شود. بدیهی است که در وقوع امواج گرمایی ممکن است این الگو همیشه غالب نباشد بلکه الگوهای سینوپتیکی دیگری تأثیرگذار باشند.

غرب ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

## مراجع

۷- سپه‌وند، ر.، ۱۳۹۳، تحلیل آماری و سینوپتیک امواج گرمایی فرین غرب ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس.

۱- اسمعیل نژاد، م.، م. خسروی، ب. علیجانی، س.ا. مسعودیان، ۱۳۹۲، شناسایی امواج گرمایی ایران. فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۳۳، صفحه ۵۴-۳۹.

۸- علیجانی، ب.، م. کاویانی، ۱۳۷۱، مابانی آب و هواشناسی. چاپ ۱۲، انتشارات سمت. ۵۳۲ صفحه.

۲- الما سی، ف.، ت. طاووس، ن. حسین‌آبادی، ۱۳۹۵، واکاوی رفتار و تغییرات بسامد رخداد امواج گرمایی شهر اهواز. مجله آمایش جغرافیایی فضا، شماره ۵، صفحه ۱۵۰ - ۱۳۷.

۹- قائمی، ه.، آ. زرین، م. آزادی، م. فرج زاده اصل، ۱۳۸۸، تحلیل الگوی فضای پرفشار جنب حاره بر روی آسیا و آفریقا. فصلنامه مدرس علوم انسانی، شماره ۱، صفحه ۲۴۵-۲۱۹.

۳- پرک، ف.، ا. روشنی، ب. علیجانی، ۱۳۹۴، واکاوی همدیدی سامانه کم‌فشار سودانی در رخداد ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌های نیمه جنوبی ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۵، صفحه ۹۰ - ۷۵.

۱۰- لشکری، ح.، ز. محمدی، ۱۳۹۴، اثر موقعیت استقرار پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان بر سامانه‌های بارشی در جنوب و جنوب غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۱، صفحه ۹۰ - ۷۳.

۴- توحیدی زاده، ع.، ۱۳۹۲، تحلیل سینوپتیکی و منشأ یابی موج‌های گرمایی زمستانی موج‌های گرمایی زمستانه غرب در دهه اخیر و ارتباط آن با واچرخنده‌های جنب حاره. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

۱۱- منتظری، م.، س.ا. مسعودیان، ۱۳۸۹، شناسایی الگوهای فرارفت دمایی ایران در سال‌های سرد. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، صفحه ۹۴-۷۹.

۵- چراغی، م.، ۱۳۹۱، تحلیل سینوپتیک امواج سرما و گرما در ایستگاه‌های منتخب جنوب غرب ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی.

۱۲- هدایتی زاده، م.، ۱۳۹۴، تحلیل سینوپتیک موج گرما و سرما در استان کرمانشاه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی.

۱۳- یزدان پناه، ح.ا.، ن. سپندار، م. احمدیان، ۱۳۹۱، بررسی امواج گرمایی حادث شده در کرمانشاه. همایش ملی شهرهای مرزی و امنیت، چالش‌ها و رهیافت‌ها.

۶- زنگنه، س.، ح. لشکری، م. مرادی، ۱۳۹۴، تحلیل سینوپتیکی پرفشار عربستان و اثر آن بر خشک‌سالی‌های جنوب و جنوب

- 21- Matthies, F., G. Bickler, N. C. Marin and S. Hales, 2008, Heat health action plans: guidance. Available at: [http://www.euro.who.int/data/assets/pdf\\_file/0006/95919/E91347.pdf](http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0006/95919/E91347.pdf), Accessed on: 10 January, p. 45.
- 22-McGregor, G., P. Bessemoulin, K. Ebi and B. Menne, 2010, Heat waves and Health: Guidance on warning system development. *Report submitted to World Meteorological Organization and The World Health Organization*, No. 1142, Geneva, Switzerland.
- 23-Rusticucci, M., G. Almeida and O. Lhotka, 2015, Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires. *Theoretical and Applied Climatology*, PP 1-11.
- 24-Seneviratne, S.I., M.G. Donat, B. Mueller and L.V. Alexander, 2014, No pause in the increase of hot temperature extremes. *Nat. Climate. Change*, No. 4 (3), PP. 161–163.
- 25-Seluchi, M.E., F.A. Norte, J. L. Gomes and S.C. Simonelli, 2006, Synoptic and thermodynamic analysis of an extreme heat wave over subtropical South America. *Proceedings of 8 ICSHMO*, Foz do Iguaçu, Brazil, April 24-28, INPE: 2009-2010.
- 26-Theoharatos, G.K., A. Pantavou, A. Mavrakis, G. Spanou, P. Katavoutas, P. Efstathiou, D. Mpekas and O. Asimak, 2010, Heat waves observed in 2007 in Athens, Greece: synoptic conditions, bioclimatological assessment, air quality levels and health effects. *Environmental Research*, No.110(2), pp.152-161
- 14-Amengual, A., V. Homar, R. Romero, H.E. Brooks, C. Ramis, M. Gordaliza and S. Alons, 2014, Projections of heat waves with high impact on human health in Europe. *Global and Planetary Change*, No.119, PP. 71-84 .
- 15-Cook, B.I., T.R. Ault and J.E. Smerdon, 2015, Unprecedented 21st century drought risk in the American Southwest and Central Plains. No.1, PP.1-7.
- 16-Croitoru, A.E., A. Piticar, F.A. Ciupertea and C.F. Rosca, 2016, Changes in heat wave indices in Romania over the period 1961-2015. *Global and Planetary Change*, No.146, PP.109-121.
- 17-IPCC . Glossary of terms. In C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken and K. L. Ebi et al. (Eds.), 2012, *A special report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. pp. 555–564, Cambridge, UK, and New York, USA: Cambridge University Press.
- 18-Jaswal, A. K., P. C. S. Rao and V. Singh, 2015, Climatology and trends of summer high temperature days in India during 1969–2013. *Journal of Earth System Science*, No.124(1), PP. 1–15.
- 19-Liu, G., L. Zhang, B. He, X. Jin, Q. Zhang, B. Razafindrabe and H. You, 2015, Temporal changes in extreme high temperature, heat waves and relevant disasters in Nanjing metropolitan region, China. *Natural Hazards*, No. 76, PP. 1415-1430 .
- 20-Meehl, G.A and C. Tebaldi, 2004, More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. No. 305(5686), PP.994–997 .