

## شناسایی موج گرمایی منجر به کاهش عملکرد پنبه شهرستان اصفهان در تابستان ۱۳۹۲

سیده محبوبه ابن حجازی<sup>۱</sup>، حجت‌اله یزدان پناه<sup>۲\*</sup>

۱- دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان

۲- دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان

### چکیده

تغییر اقلیم باعث بروز فرین‌های آب و هوایی می‌شود که در صورت تکرار شدن و شدت یافتن موجب بروز خسارت سنگین مالی به‌ویژه در بخش کشاورزی می‌شوند. موج گرمایی تابستان ۱۳۹۲ یکی از این وقایع حدی آب و هوایی بود که طبق گزارش سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان و صندوق بیمه کشاورزی خسارت شدیدی به مزارع پنبه استان اصفهان وارد کرد. هدف این مقاله شناسایی ویژگی‌های موج گرمایی مذکور شامل تفاوت دمای حداکثر روزانه با میانگین بلندمدت، تداوم روزانه و ساعتی و نیز الگوهای سینوپتیکی ایجاد کننده آن بود. بر این اساس، داده‌های دمای حداکثر روزانه در تیر و مرداد سال ۱۳۹۲ با میانگین داده‌های دمای حداکثر بلندمدت در ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان اصفهان مقایسه و تداوم روزانه و ساعتی موج گرمایی نیز مشخص شد. جهت تعیین الگوی سینوپتیکی مؤثر در رخداد موج گرمایی نقشه‌های الگوی میانگین فشار سطح زمین و میانگین الگوی گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ماه ژوئیه ۲۰۱۳ و دوره بلندمدت ۱۹۹۱-۲۰۲۰ ترسیم شد. نتایج نشان داد که دمای حداکثر روزانه تیر و مرداد ۱۳۹۲، ۲۹ روز از میانگین بلندمدت بیشتر بوده است. با در نظر گرفتن دمای ایجاد تنش در گیاه یعنی دمای ۴۰ درجه موج‌های گرمایی متعدد حداقل ۲ و حداکثر ۷ روزه در شهرستان اصفهان رخ داده که برخی از آنها تداومی ۵ ساعته داشته‌اند. از نظر سینوپتیکی قوی‌تر شدن الگوی کم‌فشار حرارتی عربستان در سطح زمین و تقویت واچرخند عربستان در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نسبت به میانگین بلندمدت که باعث فرونشینی بیشتر هوا و در نتیجه عدم امکان جابجایی و گرم‌تر شدن هوا در لایه زیرین جو می‌شود، باعث ورود هوای گرم از عربستان تا مرکز کشور و الگوی مؤثر در ایجاد موج گرمایی در شهرستان اصفهان بوده است. بنابراین وقوع شدیدترین موج گرمایی در دوره آماری مورد مطالعه در تابستان ۱۳۹۲ در دوره گلدهی پنبه منجر به کاهش عملکرد آن در شهرستان اصفهان شد.

**کلید واژه‌ها:** اصفهان، پنبه، تحلیل سینوپتیک، تداوم امواج گرما، موج گرمایی.

## مقدمه

عملکرد محصول پی بردند. چاکرابورتی و همکاران (Chakraborty et al., 2019) نیز با استفاده از مدل ARIMA نتیجه‌گیری مشابهی را برای اثر موج گرمایی مارس ۲۰۱۰ بر رشد و عملکرد گندم در شمال هند داشتند. آزمایش هتفیلد و پروگر (Hatfield and Prueger, 2015) بر روی ذرت نشان داد که اثرات افزایش دما بیشتر بر روی عملکرد محصول است تا رشد گیاه که علت آن افزایش دماهای حداقل است. احمدی و میرحاجی (۱۳۹۱) نیز با استفاده از داده‌های دمای ماهانه ۲۵ ساله و دمای شروع آستانه تنش گرمایی در ذرت، ماه‌های خرداد، تیر و مرداد را زمان وقوع امواج گرمایی در استان قزوین تشخیص دادند که در نتیجه این تنش‌ها کیفیت محصول کاهش داشته و یا گیاه از بین رفته است. اما اکثر و اسلام (Akter and Islam, 2017) با بررسی تحقیقات پیشین، به این نتیجه رسیدند که تأثیر افزایش درجه حرارت و تغییرات ناشی از آن، بر روی رشد گیاه است زیرا تنش گرمایی جوانه‌زنی و رشد برگ را کاهش می‌دهد و باعث پیری برگ، کم شدن فتوسنتز، تعداد و اندازه دانه گندم می‌شود. نتایج تحلیل گاسو و همکاران (Gusso et al., 2014) بر روی تأثیر دماهای تاج پوشش گیاهی سویا در طول مراحل فنولوژیکی بر روی عملکرد آن با استفاده از داده‌های دمای سطح زمین (LST) و داده‌های شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته (EVI) سنجنده مودیس در سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۱۲ نیز نشان داد که امواج گرمایی در طول مرحله گلدهی می‌توانند تأثیرات خشکسالی را افزایش داده و منجر به خسارت محصول شوند. بعلاوه تحقیقاتی نیز بر روی برآورد و پیش‌نگری تأثیر امواج گرمایی بر عملکرد محصولات کشاورزی در دهه‌های آینده با استفاده از مدل‌های اقلیمی صورت گرفته است. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که تغییر اقلیم در برخی محصولات تأثیر منفی دارد و در برخی دیگر باعث بهبود عملکرد می‌شود (Deryng et al., 2014; Chung et al., 2014). موضوع سازگاری با پیامدهای تغییرات اقلیمی مانند امواج گرمایی نیز از موضوعات مهم در زمینه تأثیر امواج گرمایی بر روی محصولات کشاورزی است. سازگاری بخش کشاورزی با این پدیده‌ها باعث می‌شود تا در صورت وقوع مجدد چنین پدیده‌هایی در آینده خسارت‌های ناشی از آن‌ها کاهش یابد (Wreford and Adger, 2010; Pathak et al., 2018, )

رویدادهای فرین اقلیمی مانند امواج گرمایی یا سرمای می‌تواند بخش‌های مهمی از جمله سلامت، کشاورزی و امنیت مواد غذایی را تحت تأثیر قرار داده و آن‌ها را با خطر مواجه سازند و در نتیجه موجب خسارت‌های مالی سنگینی شوند (Niggli et al., 2022; Helali et al., 2021; Helali et al., 2022). همچنین این رخدادها می‌توانند باعث تخریب محصولات کشاورزی، آتش‌سوزی جنگل‌ها، زیان رساندن به سلامت انسان‌ها و افزایش بیماری‌های عفونی و امراض قارچی و حتی منجر به مرگ انسان‌ها شوند (Dolling et al., 2005; Hayhoe et al., 2010; Miller et al., 2021; Breshears et al., 2021; Mitchell et al., 2016). با افزایش دمای سطح کره زمین، تناوب، مدت و شدت موج گرمایی نیز افزایش می‌یابد که این امر سیستم‌های کشت محصولات را با تنش‌های گرمایی روبرو می‌کند؛ امواج گرمایی و تنش ناشی از آن منجر به وارد آمدن خسارت و زیان به محصول در حین مراحل رشد و در نتیجه کاهش عملکرد آن می‌شود (Moore et al., 2021) و می‌تواند تهدیدهای جدی را برای امنیت غذایی در آینده ایجاد کند (Miralles et al., 2019). بنابراین بررسی ویژگی‌های امواج گرمایی و اثرات آن در بخش کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است و به همین دلیل موضوع پژوهش بسیاری از محققین بوده است به عنوان مثال کومار و گایوتام (Kumar and Gautam, 2014) با بررسی تحقیقات انجام شده تأثیر تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی در کشور هند را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که در سال‌های اخیر تداوم امواج گرمایی در هند افزایش یافته و انتظار می‌رود که این روند ادامه یابد. این امواج گرمایی تأثیر شدیدی بر روی بخش کشاورزی در هند خواهد داشت. پاتل و همکاران (Patel et al., 2019) با انجام تحقیق مشابهی در ادیشای هند چنین نتیجه‌گیری کردند که قسمت زیادی از جمعیت به کشاورزی وابسته هستند و کشاورزی هم در دهه‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی و تأثیر رویدادهای فرین آسیب‌پذیر شده است. فونتانا و همکاران (Fontana et al., 2015) با بررسی تأثیر، تعداد، شدت و تداوم امواج گرمایی زودهنگام روی عملکرد گندم دوروم در ایتالیا در سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۱۳ به نقش مؤثر امواج گرمایی در کاهش

داده‌ها، تشخیص و تحلیل موج گرمایی تیر و مرداد ۱۳۹۲

طبق تعریف سازمان هواشناسی جهانی (WMO) موج گرمایی، گرمای طولانی مدت در ۵ روز متوالی یا بیشتر است که در طول این مدت دمای هوای حداکثر روزانه ۵ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر، بالاتر از متوسط دمای حداکثر باشد (<https://www.britannica.com/science/heat-wavemeteorology>). به طور کلی موج گرمایی دوره ای از هوای بیش از حد گرم است که ممکن است با رطوبت بالا همرا باشد. به دلیل آنکه تعریف موج گرمایی بسته به آب و هوا و دماهای نرمال در هر منطقه متفاوت است، یک تعریف جامع از موج گرمایی وجود ندارد (Marx et al., 2021)، از این‌رو تعاریف متعددی از امواج گرمایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sharma et al., 2022) و در تحقیقات انجام شده نیز محققان بر اساس موضوع و هدف خود از تعاریف، آستانه های دمایی و مدت تداوم‌های مختلف برای تعیین موج گرمایی استفاده کرده اند (Matzarakis and Nastos, 2011؛ Yang et al., 2013؛ Xu et al., 2018؛ عساکره و شادمان، ۱۳۹۴)؛ برخی از محققین نیز در تحقیقات خود موج گرمایی را با مقایسه با میانگین بلندمدت دما تشخیص داده‌اند (Wobus et al., 2018؛ ثنایی و همکاران، ۱۳۹۴). در تحقیقات دیگر اسمعیل نژاد و همکاران، (۱۳۹۲) از شاخص فومیایکی و درگاهیان و همکاران (۱۴۰۰) از مدل ClimPACT برای پی بردن به ویژگی های امواج گرمایی ایران استفاده کردند.

در این تحقیق برای تشخیص موج گرمایی در تیر و مرداد ۱۳۹۲ از دو تعریف استفاده شده است در تعریف اول دمای حداکثر روزانه در تیر و مرداد با میانگین دمای حداکثر روزانه در بلندمدت مقایسه شد و موج گرمایی با روزهایی که در آن دو روز پیاپی و بیشتر دمای حداکثر روزانه از میانگین بلندمدت بیشتر بود شناسایی شد. در تعریف دوم از دمایی که در آن گیاه دچار تنش شده برای تشخیص موج گرمایی استفاده شد. محدوده دمای بهینه برای رشد پنبه ۱۵-۳۲ درجه سانتی‌گراد است (Reddy et al., 2002)؛ سازمان هواشناسی جهانی، (۱۳۹۳) ولی با این حال دماهای ۳۵ تا ۴۰ درجه در مناطق تولید پنبه به‌طور مکرر مشاهده می‌شود که این امر باعث ماندگاری کم غوزه و در نتیجه کم شدن وزن

(Parker et al., 2020). با وجود اینکه پنبه گیاهی گرمادوست است اما باید در نظر داشت که رویدادهای آب و هوایی فرین که در طول تابستان اتفاق می‌افتد بیشترین تأثیر را بر روی تولیدات کشاورزی دارد (Hatfield and Prueger, 2015). در گیاه پنبه متوسط بالای دما به همراه موج های گرمایی ریزش گلها را افزایش و رشد گیاه پنبه و عملکرد آن را کاهش می دهد (Saleem et al., 2021). Saleem et al., (2023) با توجه به اینکه تنش گرمایی تیر و مرداد ۱۳۹۲ در دوره گلدهی پنبه باعث وارد آمدن خسارت شدید به مزارع پنبه شهرستان اصفهان شد، از این‌رو هدف از این پژوهش شناخت ویژگی‌های آماری و الگوی سینوپتیکی ایجاد کننده موج گرمایی مذکور به‌منظور پیشگیری از خسارت و برنامه‌ریزی برای سازگاری با این‌گونه مخاطرات در آینده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

شهرستان اصفهان در جنوب شرق استان اصفهان واقع شده و از نظر موقعیت جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد و مساحت آن ۱۵۶۸۹ کیلومتر مربع است. این شهرستان از شمال با شهرستان‌های برخوار و اردستان، از غرب با فلاورجان و مبارکه، از شمال غرب با شهرستان شاهین شهر و میمه و شهرستان خمینی شهر و از جنوب با شهرستان شهرضا و استان فارس، از سمت غرب با شهرستان‌های فلاورجان و مبارکه و از سمت شرق با شهرستان نایین و استان یزد همسایه است. در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در استان اصفهان، میزان عملکرد پنبه در هکتار، ۳۲۷۴ کیلوگرم بوده است و از ۴۳۹ هکتار سطح زیر کشت این محصول در این استان ۱۴۳۸ تن پنبه تولید شده است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۱). مناطق تولید پنبه در سال زراعی مذکور شهرستان‌های نایین، کاشان، برخوار، اصفهان و آران و بیدگل بوده‌اند (<https://www.agri-es.ir>).

مشابه چنین وضعیتی نیز در پنجاب پاکستان رخ داد و رسیدن دما طی ماه‌های می-ژوئیه ۲۰۱۵ به بیش از ۴۰ درجه، خسارت سنگینی را به محصول پنبه در سال زراعی ۲۰۱۴-۲۰۱۵ وارد کرد و افزایش دما در پایان آوریل و شروع می به بیش از ۴۰ درجه منجر به کم شدن دوره رشد (کاشت تا رویش و ظهور غوزه) شد (ارشد، ۲۰۲۱). به همین دلیل ارقام مقاوم به دمای بالا می‌تواند باعث افزایش تولید و بالا بردن عملکرد محصول شود (Zahid, Reddy et al., 1992; et al., 2016).

موج گرمایی در تیر و مرداد ۱۳۹۲ در شهرستان اصفهان بر مبنای تعاریف مذکور و با استفاده از داده‌های دمای حداکثر روزانه در ایستگاه‌های هواشناسی واقع در شهرستان اصفهان- که آمار آن از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید- تعیین شد (جدول ۱). همچنین با استفاده از آمارهای اخذ شده از سازمان هواشناسی استان اصفهان، برای تحلیل تغییرات روزانه دما آمار ساعتی دمای ایستگاه‌های مذکور از گراف‌های دمانگار استخراج شد.

آن می‌شود (Reddy et al., 1992). تعداد غوزه‌های تولید شده، غوزه‌های سالم و درصد سلامت آن‌ها نیز به تدریج با افزایش زمان قرار گرفتن در معرض دمای ۴۰ درجه کاهش می‌یابد (Karademir et al., 2012). کانوال و همکاران (Kanwal et al., 2021) نیز عقیده دارند در بالاتر از ۴۰ درجه تشکیل غوزه و رشد ریشه الیاف و دانه متوقف می‌شود (Reddy et al., 1995). آزمایش‌های ردی و همکاران (Reddy et al., 1992) نشان داد هنگامی که گیاهان در معرض دمای ۴۰ درجه قرار می‌گیرند غوزه‌ها و گل‌ها ریزش پیدا می‌کنند؛ البته تعداد و حجم غوزه به طول مدتی که گیاهان در معرض دمای ۴۰ درجه هستند بستگی دارد. بنابراین با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته درباره تأثیرات منفی دمای ۴۰ درجه بر روی رشد و عملکرد پنبه و با در نظر گرفتن این نکته که بر اساس گزارش سازمان جهاد کشاورزی تشش گرمایی پنبه در اصفهان در دوره گلدهی نیز با رسیدن به دمای ۴۰ درجه رخ داده است، در این مطالعه روزهای با دمای حداکثر ۴۰ درجه و بالاتر که دارای توالی دو روز و بیشتر بودند به عنوان موج گرمایی در نظر گرفته شد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در بررسی پدیده موج گرمایی در شهرستان اصفهان

طول دوره آماری مورد استفاده در این مطالعه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول شرقی		عرض شمالی		ایستگاه
		درجه	دقیقه	درجه	دقیقه	
۱۳۶۳-۱۴۰۱	۱۵۵۰	۵۱	۴۲	۳۲	۳۱	اصفهان
۱۳۶۳-۱۴۰۱	۱۵۴۳	۵۱	۵۱	۳۲	۴۴	شرق اصفهان
۱۳۶۶-۱۴۰۱	۱۵۵۲	۵۱	۵۰	۳۲	۳۰	کبوترآباد

## نتایج و بحث

تشخیص موج گرمایی تابستان ۱۳۹۲ بر مبنای آمار بلندمدت دما

مقایسه حداکثر دمای ماهانه با میانگین بلندمدت

با توجه به جدول ۲ میانگین دمای حداکثر ماهانه تیر و مرداد ۱۳۹۲ در ایستگاه‌های سینوپتیک شهرستان اصفهان نسبت به دوره آماری بلندمدت افزایش داشته است به طوری که در ایستگاه سینوپتیک اصفهان میانگین دمای حداکثر در تیر و مرداد ۱۳۹۲ به ترتیب ۰/۷ و ۱/۳، در

به منظور تحلیل سینوپتیکی الگوهای ایجاد کننده موج‌های گرمایی در تیر و مرداد ۱۳۹۲ و مقایسه آن با میانگین بلندمدت، داده‌های میانگین فشار سطح دریا و میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل ماه ژوئیه سال ۲۰۱۳ (۱۰ تیر تا ۹ مرداد ۱۳۹۲) و نیز میانگین بلندمدت داده‌های مذکور در ماه ژوئیه برای دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰ از سایت <https://psl.noaa.gov> اخذ و نقشه‌های فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از این داده‌ها در محیط نرم‌افزار grads ترسیم شد.

ایستگاه سینوپتیک کبوترآباد به ترتیب ۰/۳ و ۱ و در ایستگاه سینوپتیک شرق اصفهان به ترتیب ۰/۶ و ۱/۳ درجه دهنده گرم‌تر بودن تیر و مرداد ۱۳۹۲ است. سانتی‌گراد از میانگین بلندمدت بالاتر بوده است که نشان

جدول ۲- مقایسه دمای حداکثر ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک شهرستان اصفهان در تیر و مردادماه ۱۳۹۲ با میانگین بلندمدت مشابه

ایستگاه	میانگین دمای حداکثر ماهانه طی دوره آماری		میانگین دمای حداکثر ماهانه در سال ۱۳۹۲	
	تیر	مرداد	تیر	مرداد
شرق اصفهان	۳۷.۸	۳۷.۱	۳۸.۴	۳۸.۴
اصفهان	۳۷.۶	۳۶.۹	۳۸.۳	۳۸.۲
کبوترآباد	۳۷.۹	۳۷.۲	۳۸.۲	۳۸.۲

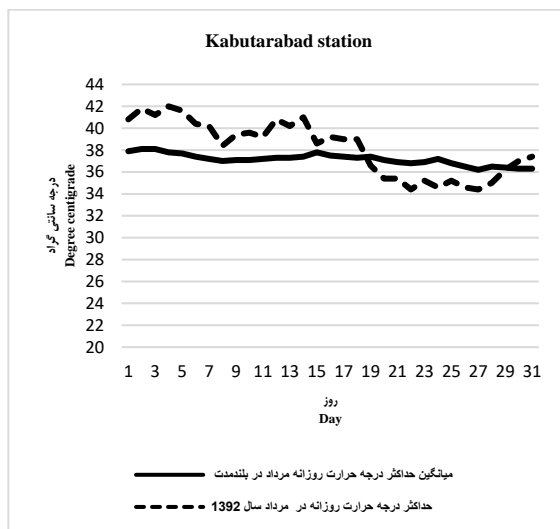
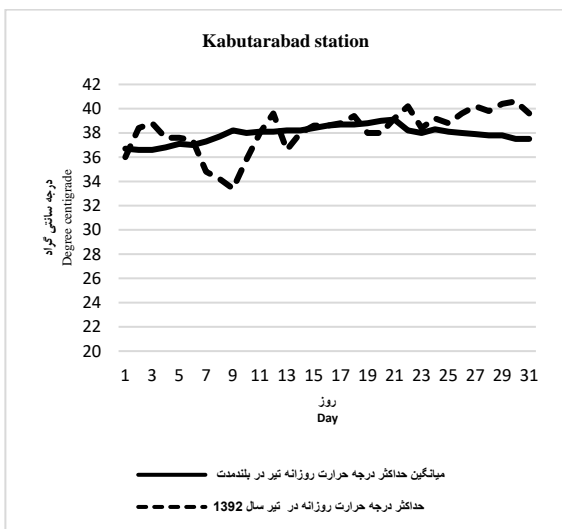
**مقایسه حداکثر دمای روزانه با میانگین بلندمدت**

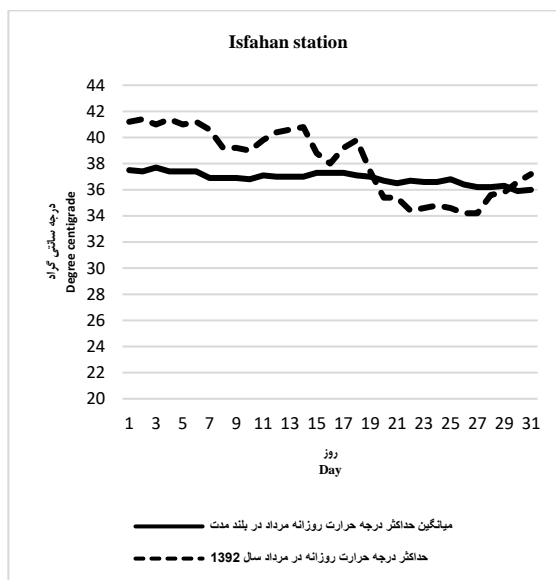
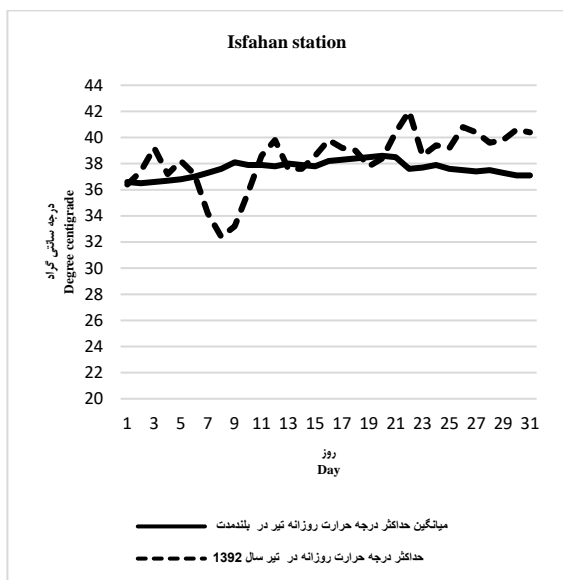
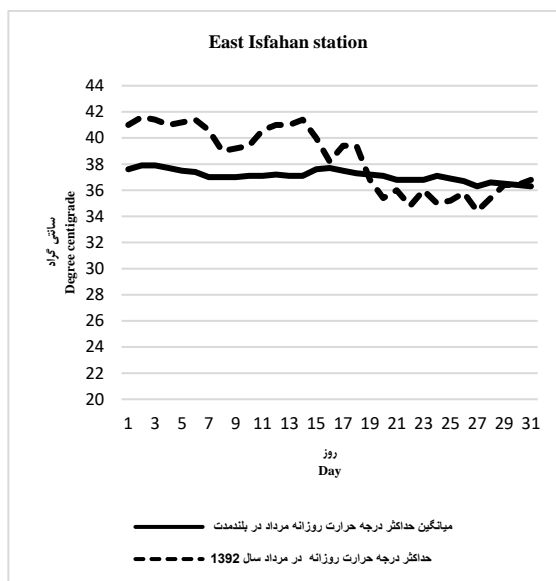
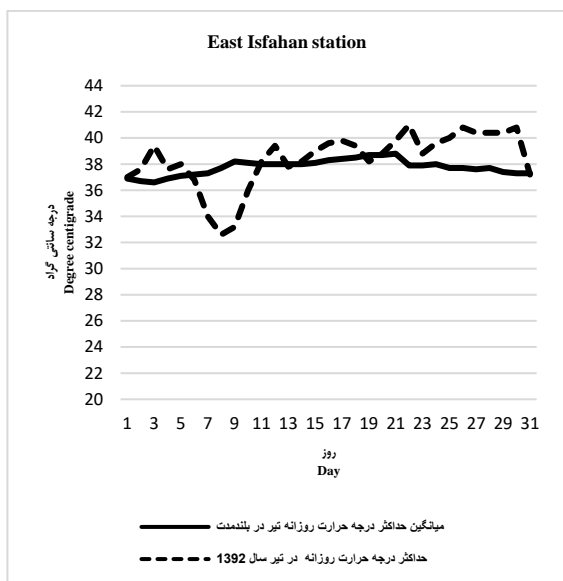
با بررسی آمارهای دمای حداکثر روزانه در تیر و مرداد ۱۳۹۲ در ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان اصفهان چنین نتیجه‌گیری می‌شود که در این شهرستان از ۲۱ تیر تا ۱۸ مرداد ۱۳۹۲، به‌طور متوالی دمای حداکثر روزانه بیش از میانگین بلندمدت دمای حداکثر روزانه بوده است؛ به عبارت دیگر حداکثر درجه حرارت روزانه ۲۹ روز از میانگین بلندمدت حداکثر دما در هر روز بیشتر بوده که نشانگر تداوم طولانی مدت موج گرمایی است. همچنین در ایستگاه‌های کبوترآباد و اصفهان بیشترین درجه حرارت حداکثر روزانه در روز ۴ مرداد ۱۳۹۲ به ترتیب با دماهای ۴۲ و ۴۱/۴ و در ایستگاه شرق اصفهان بیشترین درجه حرارت حداکثر روزانه در روز ۲ مرداد ۱۳۹۲ به میزان ۴۱/۶ درجه سانتی‌گراد بوده است که اختلاف آن با میانگین بلندمدت در ایستگاه کبوترآباد ۴/۲، ایستگاه اصفهان ۴ و ایستگاه شرق اصفهان ۳/۷ درجه سانتی‌گراد بوده است. همه

این موارد نشان‌دهنده گرمای شدید روزانه تیر و مرداد ۱۳۹۲ در این منطقه است.

تشخیص موج گرمایی بر مبنای دمای وقوع تنش گرمایی

در استان اصفهان بر اساس گزارش سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ با وجود اینکه تمام موارد از قبیل تاریخ کاشت، رقم بذر، جنس خاک، تیمارداری و تناوب کشت مانند سال زراعی قبل از آن (۱۳۹۰-۱۳۹۱) بوده است و نیز با وجود استفاده از بذر باکیفیت و مرغوب، ولی خشکسالی و تنش گرمایی در تیرماه باعث افزایش رشد رویشی پنبه و کاهش رشد زایشی و در نتیجه پایین آمدن عملکرد شده است (جدول ۳) که این امر هم‌زمان با شروع گلدهی مزارع پنبه استان به علت رسیدن دما به ۴۰ درجه رخ داده است.





شکل ۱- مقایسه دمای حداکثر روزانه در تیر و مرداد ۱۳۹۲ در ایستگاه‌های سینوپتیک شهرستان اصفهان با میانگین بلندمدت مشابه

جدول ۳- سطح کاشت، تولید و عملکرد پنبه در شهرستان اصفهان (<https://agri-es.ir>)

سال زراعی	سطح کاشت (هکتار)	تولید (تن)	عملکرد در هکتار (کیلوگرم)
۱۳۹۰-۱۳۹۱	۱۶۰۰۰	۴۳۰۰۰	۲۶۸۸
۱۳۹۱-۱۳۹۲	۱۸۰۰۰	۴۲۰۰۰	۲۳۳۳

کاهش عملکرد پنبه در استان اصفهان معرفی کرده است (شکل ۲) (تارنمای صندوق بیمه کشاورزی، ۱۳۹۲/۰۶/۰۵).

صندوق بیمه کشاورزی نیز گرمای بیش از حد در تیر و مرداد ماه سال ۱۳۹۲ را به عنوان عامل خسارت شدید و



شکل ۲- خسارت گرمای شدید به مزارع پنبه در تیرماه ۱۳۹۲ (www.sbkiran.ir)

است. اوج دمای تابستان یعنی ۴۲ درجه هم در همین دوره اتفاق افتاده که این امر باعث ریزش زیاد گل و غوزه و درنهایت کاهش تولید و عملکرد پنبه شده است. البته توالی روزهای با دمای ۴۰ درجه نیز در ایجاد تنش و خسارت در پنبه اهمیت زیادی دارد که با توجه به دماهای ثبت شده، موج گرمایی در تیرماه با یک تداوم دو روزه در ایستگاه کبوترآباد، یک تداوم ۶ روزه در ایستگاه شرق اصفهان و سه تداوم دو روزه در ایستگاه اصفهان و در مردادماه با یک دوره تداوم ۷ روزه و یک دوره تداوم ۳ روزه در همه ایستگاه‌های مذکور به وقوع پیوسته است. شناسایی ویژگی

با در نظر گرفتن دمایی که در آن تنش گرمایی در پنبه رخ داده است، در دوره گلدهی پنبه در تیر و مرداد ۱۳۹۲، دمای هوا در ایستگاه هواشناسی کبوتر آباد ۱۴ روز، ایستگاه هواشناسی اصفهان ۱۶ روز و ایستگاه هواشناسی شرق اصفهان ۱۹ روز به ۴۰ درجه و بالاتر رسید که نسبت به سال ۱۳۹۱، به ترتیب ۶، ۱۳ و ۱۴ روز بیشتر بوده است، بنابر آمار ساعتی دمای حداکثر در ایستگاه‌های مورد مطالعه، دمای ۴۰ درجه و بالاتر از لحاظ ساعتی نیز از یک تا ۵ ساعت تداوم داشته است. (جدول ۴)، که حاکی از تنش‌های گرمایی بسیار شدید و پیوسته تیر و مرداد در این منطقه

های امواج گرمایی مؤثر در کاهش عملکرد محصول در یک منطقه از عوامل مهم در به کار بردن اقدامات لازم در مزرعه در هنگام مواجهه با این امواج و قبل از آن، برای کاهش خسارت است که احمدی و میرحاجی (۱۳۹۱)، فونتنا و همکاران (Fontana et al., 2015) و چاکرابورتی و همکاران (Chakraborty et al., 2019) نیز در تحقیقات خود این مسئله را بررسی کرده‌اند.

جدول ۴- تعداد ساعت‌های روزانه در تیر و مرداد ۱۳۹۲ با درجه حرارت ۴۰ درجه و بیشتر در ایستگاه‌های سینوپتیک شهرستان اصفهان

ایستگاه هواشناسی کشاورزی کیوتراآباد																							
											روز در تیرماه	۲۲	۲۷	۲۹	۳۰								
											$T \geq 40$ تعداد ساعت	۵	۳	۵	۳								
											روز در مردادماه	۱	۲	۳۰	۴۰	۵	۶۰	۷۰	۱۲	۱۳۰	۱۴		
											$T \geq 40$ C ° تعداد ساعت	۴۰	۴۰	۵۰	۵۰	۵۰	۲۰	۲۰	۳۰	۴۰	۴۰		
ایستگاه هواشناسی شرق اصفهان																							
											روز در تیرماه	۲۲	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۰	۰	۰		
											روز در مردادماه	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵	۶۰	۷۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰
											$T \geq 40$ تعداد ساعت	-	-	-	-	-	-	-	۴	۳	۱	۴	۳
ایستگاه هواشناسی اصفهان																							
											روز در تیرماه	۲۱	۲۲	۲۶	۲۷	۳۰	۳۱						
											$T \geq 40$ تعداد ساعت	۴	۵	۲	۲	۲	۳						
											روز در مردادماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱۲	۱۳	۱۴		
											$T \geq 40$ تعداد ساعت	۴	۵	۴	۴	۴	۵	۴	۱	۳	۴		

ماه ژوئیه ۲۰۱۳ با الگوهای فشار متوسط ماه ژوئیه در بلندمدت تفاوت آشکاری بین الگوها دیده نمی‌شود ولی الگوها در ژوئیه ۲۰۱۳ قوی‌تر شده‌اند؛ به عبارت دیگر تقویت کم‌فشار عربستان و زبانه‌های آن و کشیده شدن زبانه‌های این سامانه کم‌فشار به سمت نواحی مرکزی کشور باعث ایجاد موج گرمایی در تیر و مرداد ۱۳۹۲ در شهرستان اصفهان شده است. در واقع کم‌فشار عربستان و گسترش زبانه‌های این کم‌فشار تا مرکز ایران هوای گرم بیابان‌های عربستان را تا مرکز ایران- که در این مطالعه شهرستان اصفهان مدنظر است- فرارفت نموده است.

#### شناسایی الگوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در نقشه‌های متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل ماه ژوئیه ۲۰۱۳ (۱۰ تیر تا ۹ مرداد ۱۳۹۲) و میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل ماه ژوئیه دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰ و اچرخند عربستان تا قسمت‌های مرکزی ایران کشیده

#### شناسایی و تحلیل الگوهای سینوپتیک

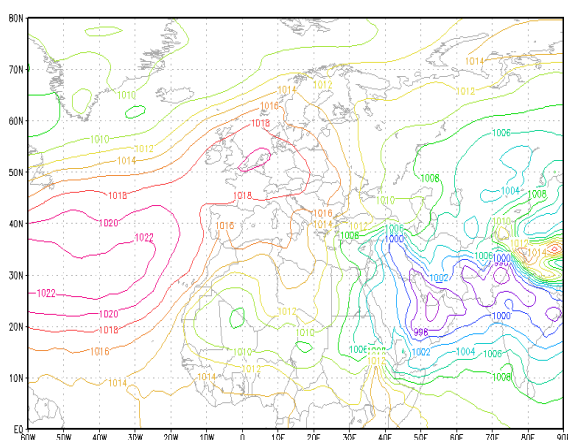
##### شناسایی الگوهای فشار سطح دریا

با توجه به شکل ۳ در نقشه‌های میانگین الگوی فشار سطح دریا در ماه ژوئیه ۲۰۱۳ (۱۰ تیر تا ۹ مرداد ۱۳۹۲) و میانگین بلندمدت فشار ماه ژوئیه در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰ زبانه‌های کم‌فشار عربستان به سمت ایران کشیده شده و هوای گرم و خشک را با خود به همراه آورده است با این حال از مقایسه نقشه‌ها چنین استنباط می‌شود که در ماه ژوئیه ۲۰۱۳ در مرکز کم‌فشار مذکور، فشار به ۹۹۶ هکتوپاسکال رسیده که نسبت به میانگین بلندمدت ۱۹۹۱-۲۰۲۰، یک هکتوپاسکال کاهش فشار داشته و قوی‌تر است زبانه‌های این کم‌فشار در مرکز ایران نیز کم‌فشاری با فشار ۱۰۰۴ هکتوپاسکال ایجاد کرده است که این میزان در مقایسه با میانگین فشار بلندمدت ۱۹۹۱-۲۰۲۰ که ۱۰۰۵ هکتوپاسکال بوده، یک هکتوپاسکال کاهش فشار داشته و قدرتمندتر است؛ در نتیجه با مقایسه الگوهای متوسط فشار

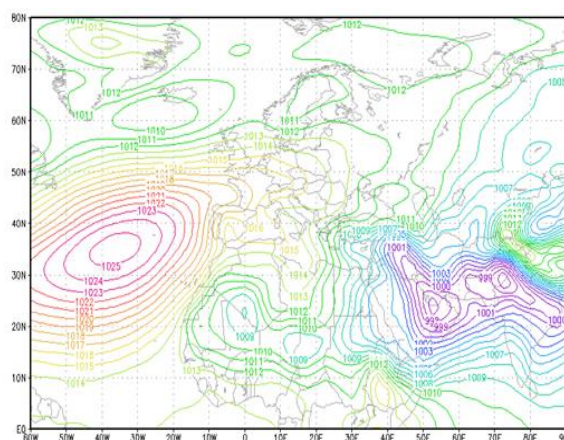


آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰ آشکار است که این امر باعث ورود هوایی گرم‌تر نسبت به زمان بلندمدت مشابه به داخل کشور شده است. به عبارت دیگر، واچرخند عربستان با جهت جنوب غربی - شمال شرقی باعث فرونشینی هوا شده که در نتیجه آن هوای گرم لایه زیرین جو امکان جابجایی را نداشته و گرم‌تر شده است. با توجه به اینکه نقشه ترسیم شده (شکل ۴ب) نقشه میانگین ماهانه الگو است پس شرایط سینوپتیکی مذکور، الگوی غالب ماه بوده و نشان‌دهنده پایدار بودن طولانی مدت آن است که باعث افزایش دما و تداوم موج گرمایی در منطقه شده است.

شده است و مرکز ایران که در این مطالعه شهرستان اصفهان مدنظر است، نیز در داخل هسته مرکزی این واچرخند قرار گرفته است با این تفاوت که فشار هسته مرکزی در میانگین بلندمدت آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰، ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر بوده و در ماه ژوئیه ۲۰۱۳ به ۵۹۱۰ ژئوپتانسیل متر رسیده است که ۱۰ ژئوپتانسیل متر نسبت به میانگین های بلندمدت مذکور افزایش داشته است (شکل ۴)؛ در نتیجه در این تراز نیز قوی‌تر شدن واچرخند عربستان در زمان وقوع امواج گرمایی یعنی ماه ژوئیه ۲۰۱۳ (۱۰ تیر تا ۹ مرداد ۱۳۹۲) نسبت به میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل ماه ژوئیه در دوره



(ب)



(الف)

شکل ۳- میانگین الگوهای فشار سطح دریا: الف) ماه ژوئیه در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰، ب) ماه ژوئیه ۲۰۱۳ (۱۰ تیر تا ۹ مرداد ۱۳۹۲)

GHRS: OLA/RES

2021-02-01-28:38

GHRS: OLA/RES

2021-07-04-26:26

(ب)

(الف)

شکل ۴- میانگین الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال: الف) ماه ژوئیه در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰، ب) ماه ژوئیه ۲۰۱۳ (۱۰ تیر تا ۹ مرداد

(۱۳۹۲)

با مقایسه دمای حداکثر روزانه و ماهانه در زمان وقوع موج گرمایی با میانگین بلندمدت و در نظر گرفتن دمایی که در آن تنش گرمایی در گیاه ایجاد شده است، یافته‌های پژوهش حاضر وجود موج گرمایی در تیر و مرداد ۱۳۹۲ را تأیید نمود. یافته دیگر این پژوهش نشان داد به‌طور کلی آرایش الگوهای فشار در سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در زمان وقوع موج گرمایی یعنی ژوئیه ۲۰۱۳ (۱۰ تیر تا ۹ مرداد ۱۳۹۲) با میانگین بلندمدت ۱۹۹۱-۲۰۲۰ تفاوتی نداشته است ولی با این حال تقویت سامانه کم‌فشار عربستان در سطح زمین و واچرخند عربستان در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و کشیده شدن زبانه‌های آن تا مرکز کشور باعث ورود موج گرمایی در تیر و مرداد ۱۳۹۲ در شهرستان اصفهان شده است.

در نهایت با بررسی ویژگی‌های آماری و سینوپتیکی دمای حداکثر تیر و مرداد ۱۳۹۲ مشخص شد در دوره آماری مورد مطالعه در این تحقیق موج گرمایی تیر و مرداد ۱۳۹۲ در شهرستان اصفهان شدیدترین موج گرمایی رخ داده بوده است.

**نتیجه‌گیری**

در تیر و مرداد سال ۱۳۹۲ موج گرمایی باعث وارد آمدن خسارت به مزارع پنبه در استان اصفهان شد. البته باید در نظر داشت که مسلماً عوامل دیگری همچون آفت یا تنش آبی نیز می‌تواند در کاهش عملکرد موثر باشد ولیکن طبق استعلام از سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان و صندوق بیمه کشاورزی در تیر و مرداد ۱۳۹۲ در شهرستان اصفهان هیچ گزارشی مبنی بر خسارت ناشی از آفات یا بیماری یا عوامل دیگر گزارش نشده بلکه به اتفاق موج گرما را دلیل اصلی وارد آمدن خسارت به مزارع پنبه می‌دانند. از این‌رو در این مقاله ویژگی‌های موج گرمایی مذکور و عوامل سینوپتیکی مؤثر در ایجاد آن در شهرستان اصفهان که یکی از مراکز تولید پنبه در استان اصفهان است، مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا ویژگی‌های موج گرمایی از نظر میزان تفاوت دمای روزانه حداکثر با میانگین دمای روزانه حداکثر بلندمدت، تداوم روزانه و تداوم ساعتی موج گرمایی شناسایی شد. با مقایسه دمای حداکثر روزانه در تیر و مرداد

۱۳۹۲ با میانگین بلندمدت حداکثر دمای روزانه در ۲۱ تیر تا ۱۸ مرداد و با در نظر گرفتن تداوم طولانی‌مدت از ۲۱ تیر تا ۱۸ مرداد و با در نظر گرفتن دمای ۴۰ درجه و بالاتر که دمای وقوع تنش گرمایی در پنبه بوده است موج‌های گرمایی متعدد با تداوم‌های روزانه از دو تا هفت روز در ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان اصفهان تشخیص داده شد که در برخی موارد موج گرمایی با دمای ۴۰ درجه و بالاتر تا ۵ ساعت در روز تداوم داشته است. البته باید توجه داشت که بر طبق نتایج پژوهش اسمعیل نژاد و همکاران (۱۳۹۲) برای دوره آماری ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۲/۱۲/۲۹ بیانگر این مطلب است که به طور کلی وقوع موج گرمایی پر تداوم کمتر اتفاق می‌افتد و موج‌های گرمایی کوتاه، رخداد بیشتری داشته است. درگاهیان و همکاران (۱۴۰۰) نیز با بررسی روند تغییرات ویژگی‌های امواج گرمایی در ایستگاه سینوپتیک یزد طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۷، به مانند تحقیق حاضر موج گرمایی سال ۲۰۱۳ را طولانی‌ترین تداوم یک رخداد موج گرمایی اعلام کردند. در تحقیقات دیگری فونتانو و همکاران (Fontana et al., 2015) با بررسی ویژگی‌های امواج گرمایی و تأثیر این امواج بر روی عملکرد گندم دوروم در ایتالیا، چاکرابورتی و همکاران (Chakraborty et al., 2019) با بررسی اثر موج گرمایی مارس ۲۰۱۰ بر رشد و عملکرد گندم در شمال هند و احمدی و میرحاجی (۱۳۹۱) با انجام پژوهش درباره زمان وقوع امواج گرمایی در استان قزوین به این نتیجه رسیدند که امواج گرمایی در کاهش عملکرد محصول نقش مهمی دارد که نتیجه تحقیقات آنها با نتیجه این تحقیق در یک راستا قرار دارد زیرا در این مطالعه نیز با شناسایی ویژگی‌های مشخص شد که موج گرمایی تابستان ۱۳۹۲ در ایجاد خسارت به مزارع پنبه شهرستان اصفهان مؤثر بوده است. هرچند در این تحقیق دماهای حداکثر به عنوان عامل وقوع تنش گرمایی معرفی شد اما آزمایش هتفیلد و پروگر (Hatfield and Prueger, 2015) افزایش دماهای حداقل را بر روی رشد و عملکرد ذرت مؤثر دانسته است. همچنین عوامل سینوپتیکی نیز که منجر به ایجاد موج گرمایی تیر و مرداد ۱۳۹۲ در شهرستان اصفهان شد، با استفاده از نقشه‌های میانگین الگوی فشار سطح دریا و تراز

۱۳۹۲ با میانگین بلندمدت و در نظر گرفتن دمایی که در آن تنش گرمایی در گیاه ایجاد شده است، یافته‌های پژوهش حاضر وجود موج گرمایی در تیر و مرداد ۱۳۹۲ را تأیید نمود. یافته دیگر این پژوهش نشان داد به‌طور کلی آرایش الگوهای فشار در سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در زمان وقوع موج گرمایی یعنی ژوئیه ۲۰۱۳ (۱۰ تیر تا ۹ مرداد ۱۳۹۲) با میانگین بلندمدت ۱۹۹۱-۲۰۲۰ تفاوتی نداشته است ولی با این حال تقویت سامانه کم‌فشار عربستان در سطح زمین و واچرخند عربستان در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و کشیده شدن زبانه‌های آن تا مرکز کشور باعث ورود موج گرمایی در تیر و مرداد ۱۳۹۲ در شهرستان اصفهان شده است.

در نهایت با بررسی ویژگی‌های آماری و سینوپتیکی دمای حداکثر تیر و مرداد ۱۳۹۲ مشخص شد در دوره آماری مورد مطالعه در این تحقیق موج گرمایی تیر و مرداد ۱۳۹۲ در شهرستان اصفهان شدیدترین موج گرمایی رخ داده بوده است.

- review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37: 37. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0443-9>
3. Arshad A., Raza MA., Zhang Y., Zhang L., Wang X., Ahmed M., and Habib-ur-Rehman M. 2021. Impact of climate warming on cotton growth and yields in China and Pakistan: A regional perspective. *Agriculture*, 11: 97. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020097>.
  4. Asakereh H. and Shadman H. 2015. Recognition of spatial relationship of widespread hot days in Iran. *Geographical Research*, 30(116): 53-70.
  5. Boron, A., Zohoriyan Pordel, M., Lashkari, H., Shakiba, A., and mohamadi, Z. 2019. Synoptic analysis of Saudi Arabian subtropical high pressure in height Waves of Khuzestan Province. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 2(1), 55-67.
  6. Breshears, D. D., Fontaine, J. B., Ruthrof, K. X., Field, J. P., Feng, X., Burger, J. R., Law, D. J., Kala, J., and Hardy, G. E. S. J. 2021. Underappreciated plant vulnerabilities to heat waves. *The New phytologist*, 231(1), 32-39. <https://doi.org/10.1111/nph.17348>
  7. Chakraborty D., Sehgal VK., Dhakar R., Ray M., and Das DK. 2019. Spatio-temporal trend in heat waves over India and its impact assessment on wheat crop. *Theoretical and Applied Climatology*, 138: 1925-1937. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02939-0>.
  8. Chung U., Gbegbelegbe S., Shiferaw B., Robertson R., Yun, JI., Tesfaye K., Hoogenboom, G., and Sonder, K. 2014. Modeling the effect of a heat wave on maize production in the USA and its implications on food security in the developing world. *Weather and Climate*
- ۵۰۰ هکتوپاسکال در ژوئیه ۲۰۱۳ (۱۰ تیر تا ۹ مرداد ۱۳۹۲) و مقایسه آن با میانگین بلندمدت ژوئیه در دوره آماری ۱۹۹۱-۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد الگوهای سینوپتیکی ژوئیه ۲۰۱۳ با میانگین بلندمدت مشابهت دارد ولی قوی‌تر شدن هسته کم‌فشار حرارتی عربستان و زبانه‌های آن به میزان یک هکتوپاسکال نسبت به دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ و کشیده شدن زبانه‌های آن به مرکز ایران که در این مطالعه شهرستان اصفهان مدنظر است و نیز تقویت واچرخند عربستان به میزان ۱۰ ژئوپتانسیل متر در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نسبت به میانگین دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ و قرار گرفتن مرکز ایران در هسته این واچرخند عامل اصلی گرمایش و ایجاد موج گرمایی در شهرستان اصفهان بوده است. بنابراین وجود کم‌فشار عربستان در سطح زمین که هوای گرم را از بیابان‌های عربستان به سمت مرکز ایران آورده و نیز وجود واچرخند قوی عربستان در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال که برای مدت طولانی باعث فرونشینی هوا، عدم امکان جابجایی هوا در لایه زیرین جو و در نتیجه گرم‌تر شدن هوا و ایجاد موج گرمایی شدید در تابستان ۱۳۹۲ شد. این نتایج با مطالعات قویدل رحیمی، (۱۳۹۰)، خسروی و اسماعیل نژاد، (۱۳۹۹) و برون و همکاران (۱۳۹۸) همخوانی دارد این تحقیق ویژگی‌های موج گرمایی تیر و مرداد ۱۳۹۲ در شهرستان اصفهان شامل تفاوت دمایی حداکثر روزانه با میانگین بلندمدت، تداوم روزانه و ساعتی و همچنین الگوهای سینوپتیکی که در ایجاد موج گرمایی مذکور مؤثر بوده‌اند را نشان داد؛ بنابراین شناخت دقیق موج گرمایی که باعث وارد آمدن خسارت به محصول شده برای برنامه‌ریزی به‌منظور سازگاری با شرایط به وجود آمده ناشی از حاکمیت موج گرمایی، مدیریت بحران و در نتیجه کاهش خسارت به محصول در آینده ضرورت دارد.
- منابع
1. Ahmadi M., and Mirhaji, H. 2012. Evaluation of thermal stress effects on corn (Case Study: Qazvin Province). *Environmental Sciences*, 9(3): 119-128.
  2. Akter N. and Islam MR. 2017. Heat stress effects and management in wheat. A

- summer crop development in southern Brazil. *Agricultural Sciences*, 5, 353-364.
16. Hatfield J.L. and Prueger J.H. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10: 4-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>.
  17. Hayhoe, K., Sheridan, S., Kalkstein, L., and Greene, S. 2010. Climate change, heat waves, and mortality projections for Chicago. *Journal of Great Lakes Research*, 36, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.12.009>
  18. Helali, J., Momenzadeh, H., Oskouei, E. A., Lotfi, M., and Hosseini, S. A. 2021. Trend and ENSO-based analysis of last spring frost and chilling in Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133(4), 1203-1221. <https://doi.org/10.1007/s00703-021-00804-2>.
  19. Helali, J., Oskouei, E. A., Hosseini, S. A., Saeidi, V., and Modirian, R. 2022. Projection of changes in late spring frost based on CMIP6 models and SSP scenarios over cold regions of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 149(3-4), 1405-1418. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04124-2>.
  20. Kanwal S., Shahid MR., Nazir W., Khan MU., Hussain N., Bibi A., Farooq M., Muhammad T., and Ramzan M. 2021. Effect of heat stress on developmental stages, yield and fibre traits of cotton (*Gossypium hirsutum*). *Journal of Pure and Applied Agriculture*, 6(3): 86-93.
  21. Karademir E., Karademir C., Ekinçi R., Basbag S., and Basal H. 2012. Screening cotton varieties (*Gossypium hirsutum* L.) for heat tolerance under field conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 7(47): 6335-6342. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR12.1868>.
  - Extremes, 5: 67-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2014.07.002>.
  9. Dargahian F., Heidarnejad S., and Razavizadeh S. 2021. Investigating the trend of changes in the heat wave properties Related to climate change in arid regions (Case Study: Yazd City). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 28(3): 564-577. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.125020>.
  10. Deryng D., Conway D., Ramankutty N., Price J., and Warren R. 2014. Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. *Environmental Research Letters*, 9: 034011. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034011>.
  11. Dolling, K., Chu, P. S., and Fujioka, F. 2005. A climatological study of the Keetch/Byram drought index and fire activity in the Hawaiian Islands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1-4), 17-27. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.07.016>.
  12. Esmail negad M., khosravei M., aliganeı B., and masoodeian S. 2013. Identifying heat waves of Iran. *Geography and Development*, 11(33): 39-54. <https://doi.org/10.22111/gdij.2013.1321>
  13. Fontana G., Toreti A., Ceglar A., and De Sanctis G. 2015. Early heat waves over Italy and their impacts on durum wheat yields. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15: 1631-1637. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1631-2015>
  14. Ghavidel Rahimi Y. 2011. Identification, classification and synoptic analysis of Iran super heat wave in 2010 summer. *Arid regions Geographic Studies*, 1(3): 85-100.
  15. Gusso A., Ducati JR., Veronez MR., Sommer, V., and Junior LG da S. 2014. Monitoring heat waves and their impacts on

- Academy of Sciences, 1436(1): 19–35. <https://doi.org/10.1111/nyas.13912>.
30. Mitchell, D., Heaviside, C., Vardoulakis, S., Huntingford, C., Masato, G., Guillod, B., Frumhoff, P., Bowery, A., Wallom, D., and Allen, M. 2016. Attributing human mortality during extreme heat waves to anthropogenic climate change. *Environmental Research Letters*, 11(7).
31. Moore CE., Meacham-Hensold K., Lemonnier P., Slattery RA., Benjamin C., Bernacchi CJ., Lawson T., and Cavanagh AP. 2021. The effect of increasing temperature on crop photosynthesis: From enzymes to ecosystems. *Journal of Experimental Botany*, 72: 2822–2844. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab090>
32. Niggli L., Huggel C., Muccione V., Neukom R., and Salzmann N. 2022. Towards improved understanding of cascading and interconnected risks from concurrent weather extremes: Analysis of historical heat and drought extreme events. *PLOS CLIMATE*, 1(8): e0000057. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000057>
33. Parker LE., McElrone AJ., Ostojic SM., and Forrester EJ. 2020. Extreme heat effects on perennial crops and strategies for sustaining future production. *Plant science*, 295, and 110397. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110397>.
34. Patel SK., Mathew B., Nanda A., Pati S., and Nayak H. 2019. A review on extreme weather events and livelihood in Odisha, India. *Mausam*, 70(3) 551-560. <https://doi.org/10.54302/mausam.v70i3.258>
35. Pathak TB., Maskey ML., Dahlberg JA., Kearns F., Bali KM., and Zaccaria D. 2018. Climate change trends and impacts on California agriculture: A Detailed Review. *Agronomy*, 8(3): 25. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030025>
22. World Meteorological Organization. 2014. Agricultural meteorology and climatology of crops. Translation: Khoshhal Dastjerdi J., and Mostafavi Darani SM. second edition. Isfahan: Pars Zia and Elm Afarin.
23. Khosravi M. and Esmaeilnejad M. 2020. Statistical analysis-synoptic a continuity heat waves of Iran. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 1(2): 19-33. <http://dx.doi.org/10.29252/gasma.1.2.19>.
24. Kumar R. and Gautam HR. 2014. Climate change and its impact on agricultural productivity in India. *Journal of Climatology & Weather Forecasting*, 2: 109. <https://doi.org/10.4172/2332-2594.1000109>.
25. Marx, W., Haunschild, R., & Bornmann, L. 2021. Heat waves: a hot topic in climate change research. *Theoretical and Applied Climatology*, 146(1–2), 781–800. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03758-y>.
26. Matzarakis A. and Mayer H. 1991. The extreme heat wave in Athens in July 1987 from the point of view of human biometeorology. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 25(2): 203-211.
27. Matzarakis A. and Nastos PT. 2011. Human-biometeorological assessment of heat waves in Athens. *Theoretical and Applied Climatology*, 105: 99–106. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0379-3>
28. Ministry of Agriculture-Jahad, Deputy of Statistics, Information and Communication Technology Center, 2022. Amarnamh Keshavarzi 2021-1: crops. 93 p. Available at <https://www.maj.ir> (visited 10 January 2023).
29. Miralles DG., Gentile P., Seneviratne SI., and Teuling AJ. 2019. Land-atmospheric feedbacks during droughts and heatwaves: state of the science and current challenges. *Annals of the New York*

- health, and adaptation strategies. *Atmosphere*, 13: 734. <https://doi.org/10.3390/atmos13050734>
43. Wobus C., Zarakas C., Malek P., Sanderson B., Crimmins A., Kolian M., Sarofim M., and Weaver CP. 2018. Reframing future risks of extreme heat in the United States. *Earth's Future*, 6: 1323–1335. <https://doi.org/10.1029/2018EF000943>
44. Wreford A. and Adger WN. 2010. Adaptation in agriculture: historic effects of heat waves and droughts on UK agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8(4): 278-289. <http://dx.doi.org/10.3763/ijas.2010.0482>
45. Xu Z., Cheng J., Hu W., and Tong S. 2018. Heatwave and health events: a systematic evaluation of different temperature indicators, heatwave intensities and durations. *Science of the Total Environment*, 630: 679–689. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.268>.
46. Yang J., Liu HZ., Ou CQ., Lin GZ., Ding Y., Zhou Q., Shen JC., and Chen PY. 2013. Impact of heat wave in 2005 on mortality in Guangzhou, China. *Biomedical and environmental sciences*, 26(8): 647–654. <https://doi.org/10.3967/0895-3988.2013.08.003>.
47. Zahid KR., Ali F., Shah F., Younas M., Shah T., Shahwar D., Hassan W., Ahmad Z., Qi C., Lu Y. Iqbal A., and Wu W. 2016. Response and tolerance mechanism of cotton *Gossypium hirsutum* L. to elevated temperature stress: a review. *Frontiers in plant science*, 7: 937. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00937>
36. Reddy KR., Doma PR., Mearns, LO., Boone MYL., Hodges HF., Richardson AG., and Kakani VG. 2002. Simulating the impacts of climate change on cotton production in the Mississippi Delta. *Climate Research*, 22: 271-281. <http://dx.doi.org/10.3354/cr022271>
37. Reddy KR., Hodges HF., and McKinion JM. 1995. Carbon dioxide and temperature effects on pima cotton development. *Agronomy Journal*, 87(5): 820-826.
38. Reddy KR., Hodges HF. and Reddy, VR. 1992. Temperature effects on cotton fruit retention. *Agronomy Journal*, 84: 26-30. <https://doi.org/10.2134/agronj1992.00021962008400010006x>
39. Saleem, M. A., Malik, W., Qayyum, A., Ul-Allah, S., Ahmad, M. Q., Afzal, H., Amjid, M. W., Ateeq, M. F., and Zia, Z. U. (2021). Impact of heat stress responsive factors on growth and physiology of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Molecular biology reports*, 48(2), 1069–1079. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06217-z>.
40. Saleem, M. A., Baig, M. M. A., Ahmad, M. Q., Zia, Z. U., Asif, M., and Nauman, M. 2023. Micro-Climatic effect on Cotton Yield, quality, BT toxin & GT Gene. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*, 7(1), 40-52. <https://doi.org/10.29329/ijjaar.2023.536.3>
41. Sanaie M., khanmohammadi M., and Mohammadi H. 2015. Synoptic survey on death rate resultant of Tehran air pollution during heat wave in summer 2013(1392). *Environmental Management Hazards*, 2(1): 67-83. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2015.53922>
42. Sharma A., Andhikaputra G., and Wang YC. 2022. Heatwaves in South Asia: Characterization, consequences on human