

تعیین زمان آغاز، پایان و طول فصول اقلیمی در ایستگاه‌های منتخب ایران براساس رژیم دما

فرامرز خوش اخلاق^{۱*}، قاسم عزیزی^۲، مصطفی کریمی^۳، علیرضا محب الحجه^۴، حسین کوشکی^۵

۱ و ۳- دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران.

۲- استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۴- استاد، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران.

۵- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران.

چکیده

تعیین فصل از موضوعات مهم در اقلیم‌شناسی است. در این پژوهش برای شناسایی و توصیف فصول اقلیمی ایران، از داده‌های روزانه دمای حداقل، حداکثر و میانگین ۴۳ ایستگاه همدید در دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۲) بهره گرفته شد. معیار تشخیص زمان آغاز و پایان فصول اقلیمی، نقاط تغییر در داده‌های روزانه نسبت به میانگین بلندمدت هر ایستگاه است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که ایران دارای چهار فصل متمایز با طول و زمان آغاز متفاوت و کیفیت متفاوت است. تابستان با ۱۲۰ تا ۱۹۶ روز و زمستان با ۸۴ تا ۹۸ روز، طولانی‌ترین فصل‌ها هستند. فصل بهار از اواسط فوریه در جنوب و جنوب‌غرب با دمای ۱۵ تا ۱۹ درجه و در نهایت از اواخر مارس در شمال‌غرب و ارتفاعات با دمای ۹ تا ۱۱ درجه سلسیوس آغاز می‌شود. تابستان از اواخر ماه آوریل در جنوب و جنوب‌غرب با دمای ۲۷ تا ۳۱ درجه و تا اواخر ژوئن در شمال‌غرب و نواحی کوهستانی با دمای ۱۹ تا ۲۲ درجه سلسیوس شروع می‌شود. پاییز ابتدا از اواسط سپتامبر در شمال‌غرب و غرب کشور با دمای ۱۸ تا ۲۰ درجه و در نهایت از اواسط نوامبر در جنوب با دمای ۲۹ تا ۳۱ درجه سلسیوس آغاز می‌گردد. زمستان نیز از اوایل دسامبر در شمال‌غرب و غرب با دمای ۴ تا ۶ درجه سلسیوس و تا اوایل ژانویه در جنوب و جنوب‌شرق با دمای ۱۵ تا ۱۸ درجه سلسیوس شروع می‌شود.

کلید واژه‌ها: رهیافت نوین، فصول اقلیمی، نقاط تغییر، ایران.

مقدمه

فصل "اقلیمی" و یا بنابر محاوره عمومی "طبیعی" بخشی از سال است که به دلیل تکرار منظم یک پدیده مشخص نجومی یا ذاتی کره زمین از سایر بخش‌های سال متمایز می‌شود. تقویم شمسی حاصل هزاران سال تلاش و تجربه برای یافتن یک نظم زمانی در روزها، هفته‌ها و سال‌ها به منظور تعیین فصول اقلیمی است. یکی از دلایل شکل‌گیری تقویم، فراهم آوردن ابزاری برای مدیریت زمان و برنامه‌ریزی در کشاورزی بوده است. یونانیان با استفاده از تغییر زاویه تابش خورشید، سطح زمین را به سه ناحیه گرم، معتدل و سرد، همچنین سال را به چهار فصل تقسیم کردند. علیجانی (۱۳۷۶) فصل‌ها به عنوان پدیده‌های طبیعی نه تنها تأثیرات گسترده‌ای بر محیط زیست، زندگی انسان‌ها و چرخه‌های طبیعی برجای می‌گذارند، بلکه نقش مهمی در شکل‌گیری فرهنگ‌ها و اقتصاد جوامع ایفا می‌کنند. این تغییرات دوره‌ای نتیجه برهمکنش پیچیده میان حرکت زمین به دور خورشید و انحراف محور چرخشی آن است که با توزیع غیریکنواخت انرژی خورشیدی در سطح زمین به طور مستقیم بر ویژگی‌های اصلی اقلیمی اصلی مانند طول ساعات روشنایی، میزان دما، و بطور جانبی بر میزان رطوبت، بارش و اثر می‌گذارد (Barry & Chorley, ۲۰۱۰). هر فصل ویژگی‌های خاص خود را دارد که زیست بوم‌ها و فعالیت‌های انسانی را در مناطق مختلف جهان تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای مثال فصل بهار با رشد گیاهان و شکوفایی طبیعت شناخته می‌شود، در حالی که تابستان با دریافت بیشینه انرژی خورشیدی، دماهای بالا و رونق فعالیت‌های کشاورزی همراه است. از سوی دیگر، فصل پاییز با خزان درختان و کاهش تدریجی دما و زمستان با سکون نسبی در زیست بوم‌ها مشخص می‌شود (IPCC, ۲۰۲۱).

به طور کلی تعیین فصل به دو روش عمده صورت می‌گیرد: الف) روش نجومی یا تقویمی: اولین، رایج‌ترین و شناخته‌ترین روش تعیین فصول روش تقویمی (نجومی) می‌باشد. در این روش تقسیم‌بندی فصول بر اساس حرکت ظاهری خورشید می‌باشد. در این روش چهار زمان مهم در ارتباط با موقعیت زمین در گردش به دور خورشید وجود دارد. در نیم‌کره شمالی فصل بهار با اعتدال بهاری و هنگام عمود تابیدن خورشید بر استوا (۲۱ مارس)، فصل تابستان در انقلاب تابستانه و هنگام عمود تابیدن خورشید بر مدار رأس‌السرطان (۲۲ ژوئن)، فصل پاییز در اعتدال پاییزی و هنگام عمود تابیدن خورشید بر استوا

(۲۱ سپتامبر) و فصل زمستان در انقلاب زمستانه (۲۲ دسامبر) آغاز می‌شود، یعنی زمانی که خورشید بر مدار رأس‌الجدی عمود می‌تابد. بنابر این در این روش آغاز فصول در کسری از ثانیه اتفاق می‌افتد (ذوالفقاری، ۱۳۸۴).

ب) روش اقلیمی: در نگاه اولیه بر اساس علم نجوم می‌توان زمان شروع و پایان و طول مدت فصول هر نقطه را به طور دقیق تعریف کرد، اما واقعیت آن است که تعیین واقعی فصول هر مکان، نیازمند اطلاعات بیشتر و جامع‌تری می‌باشد. در بیشتر مناطق واقع در عرض‌های جنب‌حاره از جمله ایران، فصول اقلیمی از لحاظ زمان شروع، پایان و طول مدت با فصول نجومی هماهنگی وجود ندارد. بنابراین امروزه علاوه بر تعریف نجومی، تعاریف دیگری از فصل مبتنی بر معیارهای جوی و اقلیم‌شناسی موسوم به روش اقلیمی تعیین فصول، مورد نیاز است (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۲، ۵۵). روش تعیین فصل به کمک مؤلفه‌های اقلیمی همراه با حرکت ظاهری خورشید، بر این اساس است که یک فصل به جای تقسیم سال به دوره‌های قراردادی، سال را به دوره‌های اقلیمی منطقی تقسیم می‌کند. در واقع تعریف فصول مبتنی بر روش اخیر انعکاس دهنده واقعیت‌های اقلیم محل است (علیجانی، ۱۳۸۱). در این روش، فصول اقلیمی فواصل زمانی از سال تقویمی هستند که توسط نواحی اقلیمی همگن و متجانس قابل تفکیک باشند، یعنی فصول اقلیمی با عنوان بهار، تابستان، پاییز و زمستان، فواصل زمانی تقویمی هستند که به طور طبیعی به وسیله انواع تیپ‌ها و رژیم‌های آب‌وهوایی مشابه با تغییرات دما و مثلاً سرعت باد تقریباً مشابه مشخص می‌شوند. در واقع در این تقسیم‌بندی‌ها، فصول بر اساس عناصر اقلیمی، مانند دما و جهت باد (برای نمونه موسمی هند) تعریف می‌شوند که بازتاب‌دهنده واقعیت‌های اقلیمی محل هستند و ممکن است از بعد زمانی و مکانی با فصول نجومی هماهنگی کامل نداشته باشد (Alsop, ۱۹۸۹). عدم تطابق فصول اقلیمی و تقویمی، زمینه‌ای برای پژوهش محققان فراهم کرده است.

Trenberth (۱۹۸۳) با بهره‌گیری از تحلیل دامنه، فاز و درصد واریانس تابش خورشیدی در بالای جو و دمای سطح زمین، به مقایسه فصول نجومی و اقلیمی در دو نیمکره شمالی و جنوبی پرداخت. وی دریافت که فصول دمایی در عرض‌های میانی ایالات متحده و نیمکره شمالی به ترتیب با تأخیری ۲۷/۵ و ۳۲/۵ روزه نسبت به چرخه خورشیدی همراه هستند. همچنین در مناطق خشکی نیمکره شمالی، استفاده از فصول

را مطالعه کردند. یافته‌ها نشان داد که تغییرات فصول در مناطق شمالی چین چشمگیرتر بوده است؛ به‌طوری‌که تابستان حدود ۵/۸ روز زودتر آغاز و ۹ روز طولانی‌تر شده، در حالی که زمستان ۵/۶ روز دیرتر شروع و ۱۱ روز کوتاه‌تر شده است. تغییرات بهار و پاییز کمتر بوده، بهار ۵/۷ روز زودتر آغاز شده اما ۰/۳ روز کوتاه‌تر شده و پاییز ۲/۳ روز دیرتر شروع شده و ۲/۳ روز طولانی‌تر شده است. Ruosteenoja et al. (۲۰۲۰) با بررسی فصول گرمایی در شمال اروپا بر اساس آستانه دمایی صفر و ۱۰ درجه سلسیوس و داده‌های ۲۳ مدل اقلیمی جهانی CM2.5، تغییرات آینده طول فصول را تحت دو خط‌داستانی (سناریو) RCP مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ تحت سناریوی RCP4.5، طول تابستان گرمایی به‌طور متوسط ۳۰ روز افزایش یافته و زمستان گرمایی ۳۰ تا ۶۰ روز کاهش می‌یابد. همچنین بهار طولانی‌تر شده و پاییز به تأخیر می‌افتد. آن‌ها همچنین همبستگی خطی بالایی بین افزایش دمای میانگین سالانه و تغییرات طول فصول گرم مشاهده کردند. Kotsias et al. (۲۰۲۲) با استفاده از ترکیب دو روش تحلیل مؤلفه اصلی و خوشه‌ای روی داده‌های بازکاوی شده روزانه پایگاه NCEP/NCAR برای دوره ۱۹۴۹-۲۰۱۸، طبقه‌بندی توده‌های هوا و تعیین فصول در مدیترانه را بررسی کردند. نتایج نشان داد که هر چهار فصل برای تمامی دوره‌ها شناسایی شدند، اما تاریخ شروع و پایان و طول مدت آن‌ها دچار تغییر شده است. یافته‌ها نشان داد که زمستان حدود ۴ ماه، تابستان کمی بیش از ۳ ماه و بهار و پاییز حدود ۲.۵ ماه طول می‌کشند. همچنین در دوره‌های اخیر زمستان و بهار در حال کوتاه شدن و تابستان و پاییز در حال طولانی شدن هستند. علیجانی (۱۳۷۶) برای اولین بار با استفاده از داده‌های دما و رطوبت نسبی روزانه ۱۰ ایستگاه طی دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ با استفاده از میانگین پنج روزه موسوم به پنجم و با روش هارمونیک و واکاوی خوشه‌ای به تعیین فصول طبیعی ایران پرداخت و به این نتیجه رسید که در اکثر ایستگاه‌ها بر اساس الگوی تقویمی، چهار فصل مشخص وجود دارد. ذوالفقاری (۱۳۸۴) با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، فصول طبیعی استان کرمانشاه را بررسی کرد و دریافت که این استان دارای دو فصل اصلی تابستان و زمستان است، درحالی‌که فصول بهار و پاییز کوتاه و گذرا هستند. گندمکار (۱۳۸۶) نیز با استفاده از تحلیل خوشه‌ای در استان اصفهان نشان داد که فصل بهار از

هواشناسی برای کاربردهای عمومی توصیه شد. او همچنین بر اهمیت توجه به تعاریف نجومی، هواشناسی و دمایی در تعیین مرزهای فصول تأکید کرد. Jaagus et al. (۲۰۰۳) با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و معیارهای دمایی، به مطالعه تغییرات مکانی و زمانی فصول اقلیمی در دشت‌های اروپای شرقی و ارتباط آن با گردش بزرگ‌مقیاس جوی پرداختند. آنان با استفاده از آستانه‌های دمایی صفر، ۵ و ۱۳ درجه سلسیوس، فصول آب‌وهوایی را تعیین کرده و نتیجه گرفتند که بهار با افزایش یکنواخت میانگین دمای روزانه به بالای صفر درجه سلسیوس آغاز می‌شود. شروع تابستان و پاییز به ترتیب با عبور دما از ۱۳ درجه سلسیوس و کاهش یکنواخت دما به زیر این مقدار مرتبط است، در حالی که زمستان با کاهش دما به زیر صفر آغاز می‌شود. بر اساس یافته‌ها، در دشت‌های اروپای شرقی، تغییرات قابل‌توجهی در تاریخ شروع و مدت فصول مشاهده می‌شود. به عنوان مثال، در بخش‌های غربی، بهار تا یک ماه زودتر آغاز شده و مدت زمستان کاهش و مدت بهار افزایش یافته است. Alpert et al. (۲۰۰۴) با استفاده از طبقه‌بندی سامانه‌های همدید روزانه در مدیترانه شرقی، زمان و مدت فصول سرد، گرم، خشک، بارانی و انتقالی را بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که طول هر فصل در این منطقه سه ماه بوده و فصول هواشناختی حدود سه هفته زودتر از فصول نجومی آغاز می‌شوند. Goldreich & Chermoni (۲۰۰۶) با استفاده از معیار پایداری وردایست در ارتفاع بالای ۱۶ کیلومتر به مدت حداقل ده روز، به بررسی تغییرات طول تابستان در خاورمیانه پرداختند. نتایج نشان داد که تابستان زودتر آغاز شده و دیرتر به پایان می‌رسد، و تعداد روزهای تابستان طی دوره مطالعه افزایش یافته است. Xavier et al. (۲۰۰۷) پیشنهاد استفاده از شاخصی فیزیکی بر اساس تفاوت دامنه تغییرات روزانه میانگین دمای ترازهای ۶۰۰ تا ۲۰۰ هکتوپاسکال را برای مطالعه تغییرات فصل باران‌های موسمی در مناطق گرمسیری مطرح کردند. Philip (۲۰۰۹) با مقایسه روش‌های واکاوی مؤلفه‌های اصلی و واکاوی خوشه‌ای به منظور طبقه‌بندی الگوهای گردشی و تعیین فصول طبیعی در اروپا دریافت که واکاوی مؤلفه‌های اصلی برای استخراج الگوهای فرعی و واکاوی خوشه‌ای برای شناسایی الگوهای کلی‌تر مناسب‌تر است. Dong et al. (۲۰۱۰) با بررسی میانگین روزانه دما، تغییرات تاریخ شروع و طول فصول در سراسر چین طی دوره ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ و پاسخ آن به گرمایش جهانی

را تجربه کرده‌اند. صداقت و نظری پور (۲۰۲۲) با تعریف شاخص‌های فیزیکی، دینامیکی و همدید برای تعیین آغاز و پایان تابستان در ایران دریافتند که این فصل تمایل به شروع زودتر و پایان دیرتر دارد. بر اساس این شاخص‌ها، طول تابستان بین ۱۱۹ تا ۱۳۴ روز متغیر است. به طور کلی بسیاری از محققان در سراسر جهان شروع، پایان، طول و تغییرات فصول اقلیمی را با استفاده از روش‌های مختلف مورد مطالعه قرار داده‌اند از جمله: آستانه دمای ثابت (Jaagus et al, ۲۰۰۳; Majewski et al, ۲۰۱۴; Kitowski et al, ۲۰۱۹; Ruosteenoja et al, ۲۰۲۰; Czernecki & Mietus Allen & al, ۲۰۲۰; Ortiz et al, ۲۰۱۵)؛ دمای ظاهری (Allen & Sheridan, ۲۰۱۶)؛ Doostan & Alijani, ۲۰۲۳)؛ طبقه‌بندی توده‌های هوا (Lamb, ۱۹۵۰; Cheng & Kalkstein, ۱۹۹۷; Alpert et al, ۲۰۰۴). همچنین در ایران، مطالعات نسبتاً زیادی در مورد فصول اقلیمی انجام شده است، اما این مطالعات یا در مورد منطقه یا مناطقی خاص از ایران است (گندمکار، ۱۳۸۶؛ خسروی و نظری پور، ۱۳۸۹؛ نظری پور و سعیدآبادی، ۱۳۹۱؛ عطایی و رحیمی پاتاق، ۱۳۹۴؛ رضایی و همکاران، ۱۳۹۴؛ کریمی، ۱۳۹۷) یا درباره یک فصل (قلی پور و همکاران، ۱۳۹۵؛ Sedaghat et al, ۲۰۲۲) یا با استفاده از روش‌های زیست‌اقلیمی انجام شده‌اند (عزیز ابراهیم و همکاران، ۱۴۰۱) که حاکی از اهمیت موضوع فصول اقلیمی و ویژگی‌ها و تغییرات آنها است. تغییرات در زمان و شدت فصول آب‌وهوایی می‌تواند اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر کشاورزی، انرژی، حمل و نقل، مدیریت منابع آب، مدیریت مصرف انرژی، محیط زیست، گردشگری، امنیت غذایی، مهاجرت، اکوسیستم‌ها و به طور کلی توسعه پایدار برای جوامع انسانی داشته باشد (Thomson, ۲۰۰۹). حتی ممکن است تغییرات در فصول آب‌وهوایی نظم زندگی موجودات زنده را به خطر بیندازد و برای زندگی انسان خطراتی ایجاد کند (Wang, ۲۰۲۱؛ Diaz et al, ۲۰۲۰؛ عزیز ابراهیم و همکاران، ۲۰۲۲). به طور کلی فصل‌های اقلیمی از طریق تأثیرگذاری بر الگوهای معیشتی و فعالیت‌های کشاورزی - از جمله زمان کاشت و برداشت محصولات، برنامه‌ریزی آبیاری و جابه‌جایی‌های فصلی عشایر - و نیز بر ابعاد فرهنگی نظیر آیین‌ها، جشن‌ها، نوع پوشش و سبک زندگی، نقش بنیادینی در ساختارهای اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی جوامع انسانی ایفا می‌کنند. افزون بر این، تغییرات فصلی تأثیر قابل توجهی

اواسط اسفند آغاز شده و تا خرداد ادامه دارد. تابستان طولانی‌ترین فصل است که از اواسط خرداد تا اواسط مهر ادامه دارد، درحالی‌که پاییز کوتاه‌ترین فصل بوده و از اواسط مهر تا اواسط آذر طول می‌کشد. زمستان نیز از اواسط آذر شروع شده و تا اواسط اسفند ادامه دارد. خسروی و نظری پور (۱۳۸۹) با استفاده از واکاوی خوشه‌ای مشخص کردند که در زاهدان، چهار فصل اقلیمی وجود دارد که با فصول تقویمی متفاوت هستند. نظری پور و سعیدآبادی (۱۳۹۱) با تحلیل داده‌های روزانه و ساعتی ۲۱ متغیر اقلیمی طی یک دوره ۳۵ ساله (۱۳۴۹-۱۳۸۳)، دریافتند که زاهدان تحت تأثیر چهار فصل اقلیمی متمایز قرار دارد. این تحلیل شامل محاسبه فاصله به روش اقلیدسی و ادغام به روش وارد بود. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۲) با واکاوی خوشه‌ای و عاملی بر داده‌های اقلیمی غرب ایران طی یک دوره ۲۸ ساله (۱۹۸۹-۲۰۰۹) دریافتند که زمستان و تابستان طولانی‌ترین فصل‌ها هستند. توده هوای معتدل خشک (DM) و حاره‌ای خشک (DT) به ترتیب توده‌های هوای غالب زمستان و تابستان هستند، درحالی‌که در بهار توده هوای معتدل مرطوب (MM) و در پاییز توده هوای DM غالب است. عطایی و رحیمی پاتاق (۱۳۹۴) با استفاده از داده‌های هفت ایستگاه همدید در استان کردستان، سه پهنه اقلیمی گرم، معتدل و سرد را شناسایی کردند. رضایی و همکاران (۱۳۹۴) نیز با تحلیل داده‌های اقلیمی استان گیلان نشان دادند که در جنوب دریای خزر سال به سه فصل گرم، سرد و انتقالی تقسیم می‌شود، اما این تقسیم‌بندی با فصول تقویمی مطابقت ندارد. قلی پور و همکاران (۱۳۹۵) در واکاوی رفتار جت جنب‌حاره‌ای طی تابستان در خاورمیانه دریافتند که آغاز تابستان طبیعی حدود سه هفته زودتر از تابستان نجومی است، اما تغییر اقلیم باعث به تأخیر افتادن زمان شروع و کوتاه‌تر شدن طول تابستان شده است. کریمی (۱۳۹۷) با تحلیل داده‌های دمایی در استان کرمان، دریافت که به‌جز ناحیه لاله‌زار که دارای سه فصل طبیعی است، سایر مناطق استان کرمان چهار فصل دمایی دارند. طولانی‌ترین تابستان‌ها در شهداد و کهنوج و بلندترین زمستان‌ها در لاله‌زار مشاهده می‌شود. عزیز ابراهیم و همکاران (۱۴۰۱) با واکاوی داده‌های اقلیمی طی دوره‌ای ۴۰ ساله (۱۹۷۱-۲۰۱۰) نشان دادند که تغییر اقلیم باعث تغییر طول و کیفیت فصول طبیعی در ایران شده است. بیشترین تغییرات در فصل گرم رخ داده و جنوبی‌ترین ایستگاه‌ها کمترین تغییرات

بر الگوهای مصرف انرژی دارند؛ به‌طوری‌که کاهش دما و وقوع یخبندان در زمستان، منجر به افزایش مصرف گاز، و افزایش دما در تابستان، موجب رشد مصرف برق می‌گردد. بر این اساس، شناخت دقیق و علمی فصل‌های اقلیمی برای جوامع شهری، روستایی و عشایری، امری ضروری و راهبردی به‌شمار می‌رود. این شناخت می‌تواند زمینه‌ساز بهبود تصمیم‌گیری‌ها و ارتقاء بهره‌وری در حوزه‌های مختلفی نظیر مدیریت منابع آب و انرژی، برنامه‌ریزی کشاورزی و تدوین سیاست‌های فرهنگی باشد. با توجه به مطالب فوق‌الذکر تعیین حدود فصول و بررسی ویژگی‌های آن‌ها (تاریخ شروع و پایان، مدت زمان و تغییرات فصول اقلیمی) و در نتیجه دستیابی به شناخت صحیح از فصول اقلیمی ضروری است. با توجه به اینکه مطالعات گذشته در این زمینه عمدتاً بر روی یک فصل یا منطقه خاصی از ایران متمرکز بوده‌اند یا اینکه روشی که استفاده شده است بر اساس شاخصهای اقلیم آسایش است. بنابراین، دستیابی به درک علمی از فصول اقلیمی و مشخصه‌های آنها با استفاده از روشی علمی و جدید بسیار ارزشمند و استراتژیک است. نتایج این پژوهش می‌تواند به طور قابل توجهی برای برنامه‌ریزی سیاست‌گذاران، مدیران و تصمیم‌گیران سطح بالا در بخش‌های مختلف جامعه از جمله کشاورزی، سازمان هواشناسی، مدیریت مصرف انرژی و وزارت نیرو مفید واقع شود و مورد استفاده قرارگیرد.

داده‌ها و روش‌ها

الف) منطقه پژوهش

منطقه مورد مطالعه کشور ایران در جنوب غربی آسیا (۴۴-۶۴ درجه شرقی؛ ۲۵-۴۰ درجه شمالی) است، که از جنوب با آب‌های آزاد دریای عمان و خلیج فارس، از غرب با عراق و از شمال با دریای خزر همسایه است. ایران دارای آشکال ناهمواری متنوعی است که شاخص‌ترین آنها با رشته کوه‌های زاگرس و البرز مشخص می‌شود. کوه‌های زاگرس که ارتفاع آن ۴۶۰۰ متر از سطح دریا می‌رسد، از شمال غربی تا جنوب غربی ایران امتداد دارد و رشته کوه البرز که از سطح دریا تا ۵۵۰۰ متر ارتفاع دارد از شمال غرب به شمال شرق ایران کشیده شده است. علاوه بر این، ایران دارای دو منطقه خشک و وسیع دشت کویر و کویر لوت است که در نواحی مرکزی و شرقی آن قرار دارند و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۶۰۰ متر است. میانگین بارش سالانه در ایران تقریباً

۲۵۰ میلی‌متر است که از کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در مناطق خشک مرکزی و شرقی تا بیش از ۲۰۰۰ میلی‌متر در سواحل جنوب غربی دریای خزر متغیر است. ایران به طور کلی به عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک با بارش کم و تبخیر و تعرق بالا طبقه‌بندی می‌شود (Khalili et al., ۲۰۱۶; Saghebian, ۲۰۱۴).

ب) داده‌ها

با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش شناسایی الگوهای اقلیمی در مقیاس ملی و در سطح کل ایران است و تمرکز آن بر استخراج سیگنال‌های کلان اقلیمی به جای تغییرات ریز مقیاس محلی می‌باشد، همچنین مطالعات اقلیم‌شناسی نشان داده‌اند که در تحلیل‌های کلان‌مقیاس، استفاده از تعداد محدودی ایستگاه با توزیع فضایی مناسب برای شناسایی الگوهای غالب اقلیمی کفایت دارد (Wilks, 2011; IPCC, 2021). از این رو، ایستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که نماینده اقلیم‌های اصلی ایران شامل نواحی خشک و نیمه‌خشک، کوهستانی، ساحلی و مناطق انتقالی باشند، بدون آن‌که افزونگی مکانی ایجاد شود. (Yarnal, 1993; Barry & Chorley, 2010) این رویکرد مانع از غلبه اثرات محلی ناشی از توپوگرافی، شهرنشینی و شرایط خرد اقلیمی شده و امکان تمرکز بر الگوهای کشوری را فراهم می‌سازد. علاوه بر این، محدود کردن تعداد ایستگاه‌ها موجب افزایش تفسیرپذیری نتایج و تسهیل مقایسه فضایی و زمانی بین نواحی مختلف کشور می‌شود. پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که افزایش تعداد ایستگاه‌ها لزوماً به معنای افزایش دقت نتایج در مطالعات کلان‌مقیاس نیست و در بسیاری از موارد می‌تواند منجر به افزایش نویز آماری و پیچیدگی غیرضروری در تحلیل‌ها شود (North et al., 2011; Daly, 2006). استفاده از ایستگاه‌های نماینده، یک رویکرد پذیرفته شده در مطالعات اقلیم‌شناسی است که ضمن حفظ کارایی آماری، امکان استخراج الگوهای معنادار و قابل تعمیم را در مقیاس ملی فراهم می‌کند و با روش‌شناسی مطالعات مشابه بین‌المللی همخوانی دارد (Allen & Sheridan, 2016; Qian et al., 2011). در این پژوهش، از داده‌های حداقل، حداکثر و میانگین دمای روزانه ۴۳ ایستگاه همدید ایران در دوره ۳۰ ساله ی ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ که از سازمان هواشناسی ایران اخذ گردید استفاده شده است (جدول ۱). ایستگاه‌های هواشناسی

Score به عنوان یکی از ابزارهای آماری پایه برای شناسایی داده‌های پرت و آماده‌سازی داده‌ها پیش از تحلیل به صورت ماهانه به کار گرفته شد. بدین ترتیب که برای هر ماه به صورت مستقل مقدار Z-score محاسبه شد و داده‌هایی که بیش از $\pm$ انحراف معیار از میانگین ماهانه فاصله داشتند، به عنوان داده ی پرت شناسائی و حذف شدند. نحوه محاسبه این آزمون در رابطه ۱ آمده است:

$$Z = (X - \mu) / \sigma \quad (1)$$

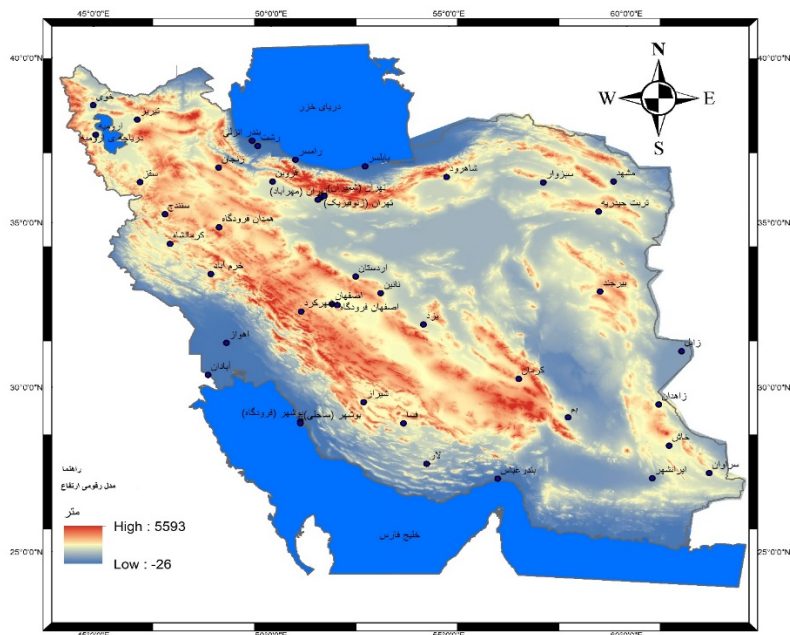
محاسبه می‌شود که در آن X مقدار مشاهده، μ میانگین و σ انحراف معیار است. اگر مقدار Z بزرگ‌تر از ۴ یا کوچک‌تر از -۴ بود، آن داده به عنوان پرت در نظر گرفته می‌شود (۲۰۲۲؛ Beele et al، ۲۰۲۴؛ Jordan et al، ۲۰۲۲؛ Chen et al، ۲۰۱۰؛ Durre et al). سپس در گام نهایی بازسازی مقادیر مفقودی با استفاده از روش درون یابی خطی به عنوان روشی که توسط سازمان هواشناسی جهانی برای داده‌های دما با ساختار زمانی پیوسته توصیه شده، انجام شد (WMO, 2017).

منتخب به گونه‌ای انتخاب شدند که تمام مناطق ایران را در برگیرد. در نتیجه ایستگاه‌های انتخابی پست‌ترین نقاط ایران واقع در سواحل پست دریای خزر و سواحل کم‌ارتفاع خلیج فارس تا مرتفع‌ترین ایستگاه‌ها در مناطق کوهستانی زاگرس و البرز با ارتفاعی بیش از ۱۵۰۰ متر از دریا را پوشش می‌دهند (شکل ۱). ابتدا به منظور اینکه مجموعه داده‌های ما از کیفیت مناسب و قابل اتکا برخوردار باشد، با استفاده از یک مجموعه روش‌های استاندارد کنترل کیفی داده‌های اقلیمی (QC) به شناسایی و حذف داده‌های پرت، بازسازی مقادیر مفقودی داده‌های خام هر سه مؤلفه ی متوسط، حداقل و حداکثر دمای روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه پرداخته شد. در گام اول سازگاری ترمودینامیکی داده‌ها مطابق با اصل توصیه شده در دستورالعمل‌های کنترل کیفی داده‌های اقلیمی ارزیابی گردید و مواردی که در آن‌ها رابطه ی منطقی $T_{min} \leq T_{avg} \leq T_{max}$ برقرار نبود، به عنوان داده‌های نامعتبر مشخص و حذف شدند (Aguilar et al., 2003). در گام بعدی روش Z-

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
آبادان	۴۸.۲۲	۳۰.۳۷	۶.۶
اهواز	۴۸.۷۴	۳۱.۳۴	۱۸
بابلسر	۵۲.۶۴	۳۶.۷۰	-۲۱
بم	۵۸.۳۵	۲۹.۰۸	۱۰۶۶.۹
بندرعباس	۵۶.۳۷	۲۷.۲۲	۹.۸
بندر انزلی	۴۹.۴۶	۳۷.۴۸	-۲۳.۶
بیرجند	۵۹.۲۵	۳۲.۹۰	۱۵۰۴
بوشهر (فرودگاه)	۵۰.۸۲	۲۸.۹۶	۹
بوشهر (ساحلی)	۵۰.۸۲	۲۸.۹۰	۸.۴
اصفهان	۵۱.۷۱	۳۲.۵۲	۱۵۴۹
اصفهان فرودگاه	۵۱.۸۶	۳۲.۴۹	۱۵۵۱.۹
همدان فرودگاه	۴۸.۵۳	۳۴.۸۵	۱۷۴۱
کرمان	۵۶.۹۶	۳۰.۲۵	۱۷۵۷.۷
کرمانشاه	۴۷.۱۵	۳۴.۳۵	۱۳۱۸
خرم آباد	۴۸.۳۰	۳۳.۴۳	۱۱۴۷.۸
خوی	۴۴.۹۹	۳۸.۵۶	۱۱۰۳.۴
مشهد	۵۹.۶۳	۳۶.۲۴	۹۹۹
ارومیه	۴۵.۰۶	۳۷.۶۶	۱۳۲۸
قزوین	۵۰.۰۴	۳۶.۲۴	۱۲۷۹.۱
رامسر	۵۰.۶۸	۳۶.۹۰	-۲۰
رشت	۴۹.۶۲	۳۷.۳۲	-۸.۶

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
سبزوار	۵۷.۶۵	۳۶.۲۱	۹۶۲
سنندج	۴۷.۰۱	۳۵.۲۵	۱۳۷۳.۴
سقز	۴۶.۳۱	۳۶.۲۲	۱۵۲۲.۸
شهرکرد	۵۰.۸۴	۳۲.۲۹	۲۰۵۳
شاهرود	۵۴.۹۳	۳۶.۳۸	۱۳۲۲
شیراز	۵۲.۶۰	۲۹.۵۴	۱۴۸۴
تبریز	۴۶.۲۳	۳۸.۱۲	۱۳۴۵
تهران (ژئوفیزیک)	۵۱.۳۹	۳۵.۷۵	۱۴۱۸.۶
تهران (مهرآباد)	۵۱.۳۱	۳۵.۶۹	۱۱۹۱
تهران (شمیران)	۵۱.۴۹	۳۵.۸۰	۱۵۴۹.۱
ترت حیدریه	۵۹.۲۱	۳۵.۳۳	۱۴۵۱
یزد	۵۴.۲۸	۳۱.۹۰	۱۲۳۷.۲
زاهدان	۶۰.۹۰	۲۹.۴۷	۱۳۷۰
زنجان	۴۸.۵۲	۳۶.۶۶	۱۶۴۰.۴
زابل	۶۱.۵۴	۳۱.۰۹	۴۸۹.۲
سراوان	۶۲.۳۲	۲۷.۳۹	۱۱۸۲.۰
ایران‌شهر	۶۰.۷۲	۲۷.۲۳	۵۹۱.۱
خاش	۶۱.۱۹	۲۸.۲۲	۱۴۲۷.۰
لار	۵۴.۳۷	۲۷.۶۷	۷۹۲.۰
فسا	۵۳.۷۲	۲۸.۹۰	۱۲۸۸.۳
ناین	۵۳.۰۸	۳۲.۸۵	۱۵۷۳.۷
اردستان	۵۲.۳۸	۳۳.۳۵	۱۲۵۵.۵



شکل ۱. محدوده اصلی پژوهش و ایستگاه‌های هواشناسی منتخب

روش پژوهش

روش‌های گوناگونی برای تعیین فصول اقلیمی در تحقیقات آب‌وهواشناسی به کار رفته‌اند که هر کدام بر مبنای فرض‌ها و اهداف متفاوتی توسعه یافته‌اند. روش‌های مبتنی بر آستانه‌های ثابت دمایی یا ترکیبی از دما و بارش از رایج‌ترین رویکردها هستند که به دلیل سادگی محاسباتی و قابلیت مقایسه بین مناطق مختلف به طور گسترده استفاده شده‌اند (Qian et al., 2011; Dwyer et al., 2012). با این حال، این روش‌ها معمولاً به انتخاب مقدار آستانه حساس هستند و نمی‌توانند به خوبی تغییرپذیری اقلیمی بین مناطق با شرایط جغرافیایی و توپوگرافی متفاوت را منعکس کنند، به ویژه در نواحی انتقالی که مرز فصول به صورت تدریجی تغییر می‌کند (Wilks, 2011). روش‌های تعیین فصل مبتنی بر اقلیم آسایش انسان، با تکیه بر شاخص‌هایی مانند دمای مؤثر، دمای معادل فیزیولوژیک و شاخص جهانی اقلیم حرارتی فصل‌ها را براساس آستانه‌های فیزیولوژیکی احساس گرما و سرما تعریف می‌کنند (Matzarakis, Farajzadeh et al., 2016; et al., 2010). مزیت اصلی این رویکرد، پیوند مستقیم آن با ادراک انسانی و کاربردپذیری در برنامه‌ریزی شهری، گردشگری و سلامت اقلیمی است، اما وابستگی شدید به آستانه‌های انتخابی و حساسیت بالا به ورودی‌هایی مانند باد، رطوبت و پوشش انسانی از محدودیت‌های آن به شمار می‌رود (Blazejczyk et al., 2012). افزون بر این، تعمیم پذیری این روش‌ها در مقیاس‌های منطقه‌ای گسترده، به ویژه در مناطق ناهمگن اقلیمی، با عدم قطعیت همراه است و نیازمند کالیبراسیون محلی می‌باشد (Höppe, 1999). در مقابل، روش‌های مبتنی بر توده‌های هوا و طبقه‌بندی‌های همدیدی تلاش می‌کنند فصول را بر اساس ساختارهای دینامیکی جو و ویژگی‌های ترمودینامیکی هوا تعریف کنند که از نظر فیزیکی واقع‌بینانه‌ترند (Yarnal, 1993; Sheridan, 2002). مزیت اصلی این رویکردها توانایی آن‌ها در بازنمایی بهتر فرآیندهای جوی و ارتباط آن‌ها با پیامدهای اقلیمی است، اما نیاز به داده‌های چندمتغیره، پیچیدگی محاسباتی و وابستگی به روش‌های خوشه‌بندی از محدودیت‌های مهم آن‌ها به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر، روش‌های آماری مبتنی بر نقاط تغییر و خوشه‌بندی زمانی به عنوان رویکردی

بینایی مطرح شده‌اند که امکان شناسایی گذارهای فصلی را بدون اعمال آستانه‌های از پیش تعیین‌شده فراهم می‌کنند، هرچند نتایج آن‌ها به انتخاب پارامترهای آماری و مقیاس زمانی تحلیل حساس است (Rodionov, 2004; Reeves et al., 2007). از این رو، انتخاب روش مناسب برای تعیین فصول باید متناسب با هدف پژوهش، مقیاس مکانی و ویژگی‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه انتخاب شود. شناسایی نقطه تغییر در داده‌های اقلیمی (دما) به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در اقلیم‌شناسی، نقش مهمی در آشکارسازی تغییرات در الگوی زمانی دما ایفا می‌کند. این روش با هدف شناسایی بازه‌هایی به کار می‌رود که در آن‌ها روند، میانگین یا پراکندگی دمای روزانه دستخوش تغییر معنادار می‌شود. در سطح بین‌المللی، پژوهشگرانی مانند (Reeves et al., 2007; Wijngaard et al., 2003; Lund and Reeves, 2002; Zhao et al., 2022; Monteiro et al., 2023; Shi et al., 2022; Kumar et al., 2023) با بهره‌گیری از این روش به تحلیل روند دمایی، فصول حرارتی و تغییر اقلیم پرداخته‌اند. در ایران نیز پژوهشگرانی نظیر خسروی و آذری (۱۴۰۱)، حمیدیان‌پور و همکاران (۱۴۰۲) از این روش برای تحلیل تغییرات دمایی و بررسی رژیم‌های اقلیمی در ایستگاه‌های مختلف کشور بهره برده‌اند. نتایج این مطالعات اهمیت به کارگیری روش‌های شناسایی نقاط تغییر در واکاوی‌های اقلیمی و برنامه‌ریزی‌های سازگار با تغییر اقلیم به ویژه در رابطه با مؤلفه دما را به خوبی نمایش می‌دهد. در این پژوهش با در نظر گرفتن پژوهش‌های انجام شده قبلی و نقاط قوت و ضعف آنها، برخلاف پژوهش‌های پیشین که عمدتاً با تکیه بر شناسایی نقاط تغییر یا استفاده از آستانه‌های ثابت دمایی (Hekmatzadeh et al., 2020) به تعیین آغاز فصل‌های اقلیمی پرداخته‌اند، در این پژوهش از رویکرد ترکیبی بهره گرفته شده است که طی آن آستانه‌های دمایی تعیین‌شده با روش نقطه تغییر تلفیق شده‌اند. به این صورت که بعد از وجود آستانه‌های دمایی تعیین شده که در ادامه آمده‌اند (الف، ب، ج، د) برای هر فصل، باید همزمان نقطه ی تغییر هم اتفاق افتاده باشد، این تلفیق موجب افزایش دقت شناسایی تغییرات پایدار در گذارهای فصلی می‌شود، موضوعی که در مطالعات گذشته کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین به منظور کاهش نویز، نوسانات کوتاه‌مدت و رفتارهای گذرای سری

ارزیابی کرد، روش کریجینگ به عنوان بهترین روش تخمینگر ناریب از دقیق‌ترین روش‌های درون‌یابی مکانی در مطالعات اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی و علوم محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Goovaerts, 1997; Matheron, 1963; Li & Heap, 2014). نحوه‌ی محاسبه روش کریجینگ در رابطه (۲) آمده است:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (2)$$

$Z(s_i)$ = مقدار اندازه‌گیری شده در مکان i ام
 λ_i = وزنی نامعلوم برای مقدار اندازه‌گیری شده در مکان i ام
 s_0 = مکان پیش‌بینی
 N = تعداد مقادیر اندازه‌گیری شده

شایان توجه است که ابتدا، تاریخ شروع و پایان هر فصل در طول دوره مطالعه (۱۹۹۲-۲۰۲۲) برای هر ایستگاه تعیین شد. پس از آن، میانگین بلندمدت تاریخ آغاز، پایان و همچنین دمایی که در آن این تغییرات رخ داده است، برای هر ایستگاه محاسبه شد و در نهایت با استفاده از نرم افزار Arc Gis و روش پهنه‌بندی Kriging نقشه‌های پهنه‌بندی مورد نظر ترسیم شد.

نتایج و بحث

الف) فصل بهار

به طور میانگین در مناطق جنوب شرق، مرکز، جنوب، جنوب غرب فصل بهار از اواسط فوریه تا اواخر مارس شروع می‌شود، یعنی در این مناطق از ایران بهار زودتر از بقیه مناطق شروع می‌شود. بهار در مناطق شمال غربی، شمال، دامنه‌های البرز، بخش‌هایی از غرب ایران از اوایل تا اواسط آوریل فصل بهار شروع می‌شود و این مناطق از ایران فصل بهار دیرتر از بقیه مناطق ایران آغاز می‌شود (شکل ۲). از منظر دما، بهار در نواحی جنوب غربی و جنوبی ایران با دمای نسبتاً بالا (۱۴ تا ۲۱ درجه سلسیوس) آغاز می‌شود، یعنی این نواحی از ایران به طور میانگین بهار گرمی دارند. در مقابل نواحی شمال غربی، غربی، شمال شرقی و دامنه‌های رشته‌کوه البرز به دلیل عرض جغرافیایی بالاتر و ارتفاع بیشتر آنها فصل بهار با دمای ۴ تا ۱۰ درجه سلسیوس آغاز می‌شود، در نتیجه این مناطق از ایران

زمانی، از فیلتر پایین‌گذر لانکروز و میانگین متحرک ۵ روزه استفاده شده است که به بهبود تشخیص شروع فصل‌ها و جلوگیری از شناسایی نقاط شروع کاذب کمک می‌کند.

بر اساس ویژگی‌های رژیم دمای ایستگاه‌های هواشناسی از راهکاری جدید برای تعیین زمان شروع و پایان فصول در قالب معیارهای زیر استفاده شده است:

الف) پایان زمستان و شروع بهار: دمای روزانه بالاتر از میانگین دمای حداقل و دمای متوسط بلندمدت و کمتر از میانگین بلندمدت حداکثر دما همراه با روند صعودی باشد.

ب) پایان بهار و شروع تابستان: دمای روزانه بالاتر از دماهای حداقل، حداکثر و متوسط طولانی مدت همراه با شیب افزایشی دما است.

ج) پایان تابستان و شروع پاییز: دمای روزانه کمتر از حداکثر بلندمدت و بالاتر از حداقل و متوسط دماهای بلندمدت همراه با شیب کاهشی دما است.

د) پایان پاییز و شروع زمستان: دمای روزانه کمتر از حداقل، حداکثر و متوسط دماهای بلند مدت همراه با شیب نزولی دما است.

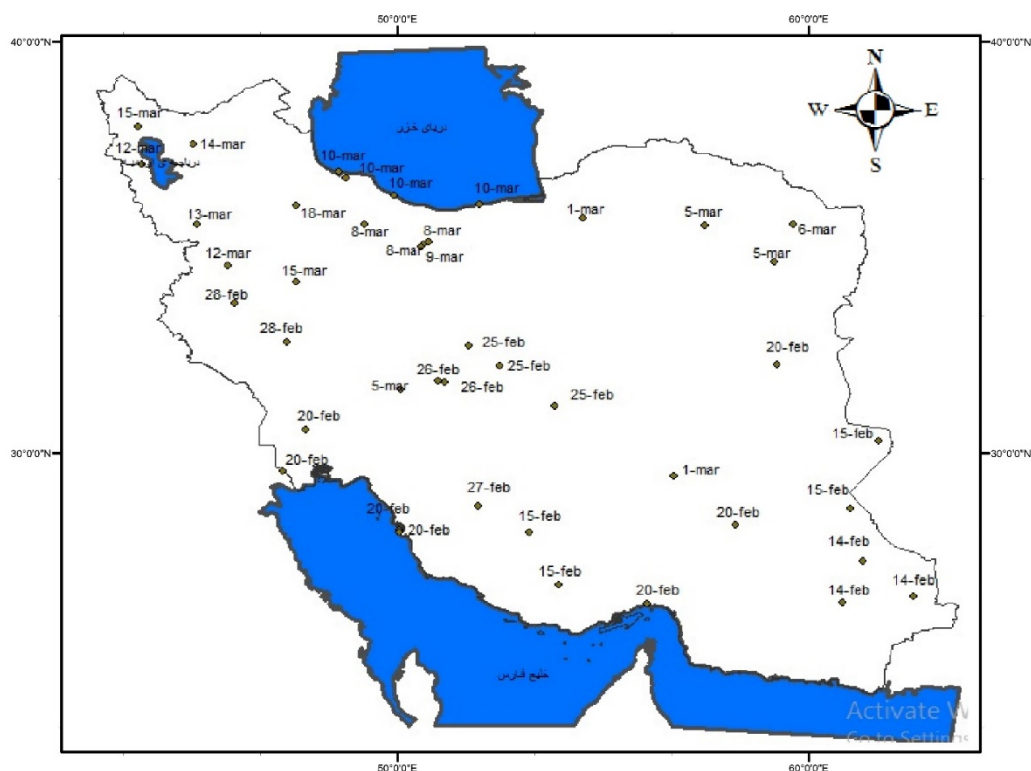
در ادامه به منظور برآورد و نمایش الگوی مکانی شاخص‌های هر فصل از روش کریجینگ و در محیط نرم‌افزار GIS استفاده شده است. روش کریجینگ یکی از روش‌های پیشرفته زمین‌آمار برای برآورد مقادیر متغیرهای مکانی در نقاط فاقد داده می‌باشد که مبتنی بر میانگین متحرک وزنی است. در این روش، مقدار متغیر در هر نقطه ناشناخته به صورت ترکیب خطی از مقادیر اندازه‌گیری‌شده در نقاط اطراف برآورد می‌شود، به گونه‌ای که واریانس خطای برآورد حداقل گردد. وزن دمی نقاط نمونه در کریجینگ بر اساس ساختار همبستگی فضایی داده‌ها انجام می‌گیرد. این روش امکان در نظر گرفتن تغییرات مکانی و وابستگی فضایی داده‌ها را فراهم کرده و نسبت به روش‌های کلاسیک دقت بالاتری دارد (Dobesch et al., 2007). با توجه به اینکه در این روش میزان تغییرپذیری متغیر مورد مطالعه بر حسب فاصله است و می‌توان میزان همبستگی داده‌ها را در فواصل مختلف مکانی

در این مناطق زودتر از بقیه مناطق ایران شروع می‌شود. در مناطق شمال‌غربی و غربی ایران تابستان از اوایل ماه ژوئن تا اواخر ژوئیه شروع می‌شود و این به معنی آغاز دیرتر تابستان نسبت به بقیه مناطق ایران است (شکل ۵). به طور معمول دمای تابستان در ایران در شروع فصل بین ۱۹ تا ۳۱ درجه سلسیوس است. بیشترین دمای شروع تابستان بین ۲۷ تا ۳۱ درجه مربوط به نواحی جنوب و جنوب‌غربی است. این نواحی گرمترین تابستان را در ایران دارند. در حالی که کمترین یا به عبارتی خنک‌ترین دمای شروع تابستان، بین ۱۹ تا ۲۲ درجه سلسیوس، در شمال‌غرب و شرق ایران رخ می‌دهد (شکل ۶). کوتاه‌ترین تابستانها به طور میانگین ۶۰ تا ۷۵ روز هستند و در ارتفاعات غرب، جنوب‌غرب و شمال غرب کشور رخ می‌دهد. در مقابل، به طور میانگین طولانی‌ترین فصل تابستان با ۱۲۰ تا ۱۹۶ روز در سال در نواحی جنوب غربی، جنوب، جنوب‌شرقی و نیمه شرقی ایران دیده می‌شوند (شکل ۷).

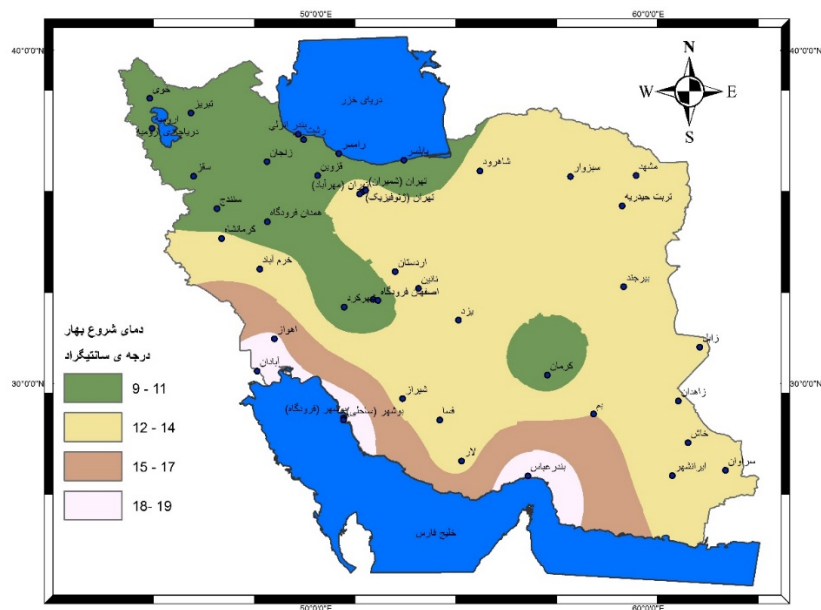
بهار سردتری دارند (شکل ۳). کوتاه‌ترین فصل بهار در ایران به طور میانگین ۵۴ تا ۶۴ روز به طول می‌انجامد و به دلایل مختلف در چندین منطقه رخ می‌دهد. در نواحی شمالی و شمال غربی به دلیل عقب‌نشینی دیر هنگام امواج بادهای غربی و ماندگاری سامانه پرفشار سیبری است. در نواحی شرقی و مرکزی، بهار کوتاه‌تر به دلیل ارتفاع کمتر و افزایش سریع دما می‌باشد. در حالی که بهار کوتاه در جنوب غربی، ناشی از جابه‌جایی شمال سوی پراارتفاع جنب حاره و ارتفاع پایین‌تر است. در بقیه مناطق ایران بهار تقریباً ۳ ماه به طول می‌انجامد (شکل ۴). آماده‌سازی بیمارستان‌ها، ارسال تیم‌های ارتش و هلال احمر برای کمک به مراکز درمانی، مدیریت تریاژ و واکسن/داروهای حیاتی.

ب) تابستان

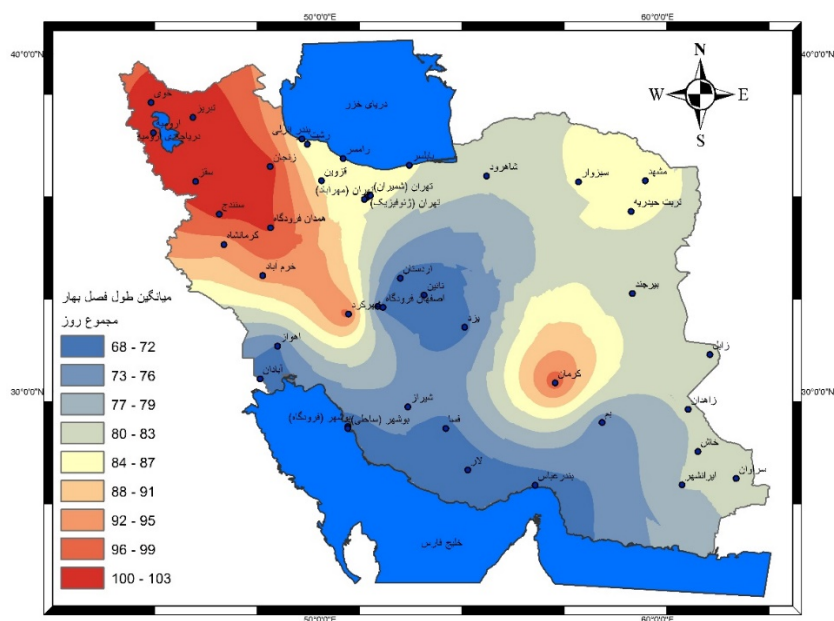
به طور میانگین آغاز فصل تابستان در مناطق جنوبی، جنوب‌غربی، جنوب‌شرقی، شرق و مرکز ایران از اوایل ماه می تا اواخر ماه می‌باشد، و این بدان معناست که فصل تابستان



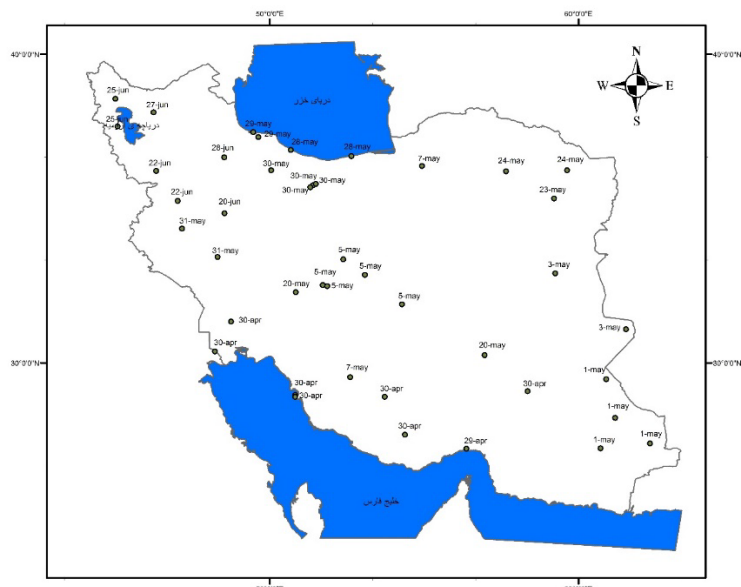
شکل ۲. میانگین بلندمدت (۱۹۹۲-۲۰۲۲) زمان آغاز فصل بهار



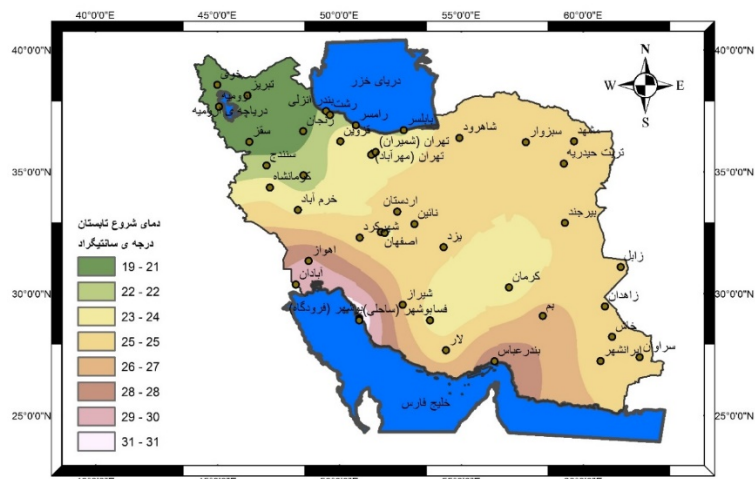
شکل ۳. میانگین بلندمدت (۱۹۹۲-۲۰۲۲) دمای آغاز فصل بهار به درجه سلسیوس.



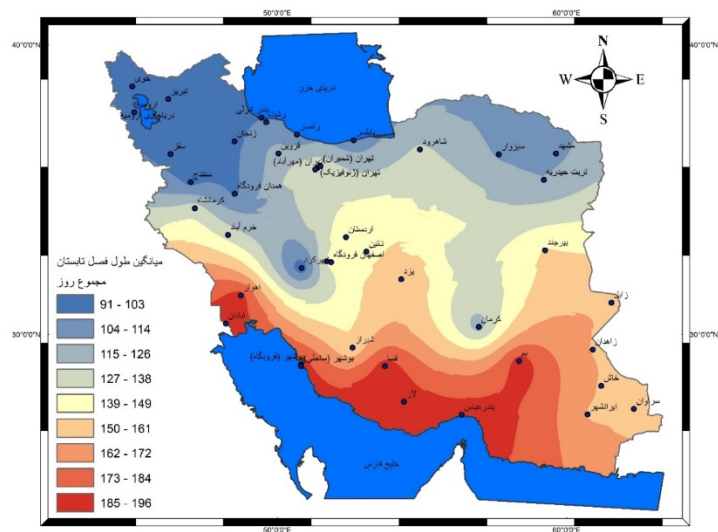
شکل ۴. میانگین بلندمدت (۱۹۹۲-۲۰۲۲) طول فصل بهار (واحد: تعداد روز).



شکل ۵. میانگین بلندمدت (۱۹۹۲-۲۰۲۲) زمان آغاز فصل تابستان



شکل ۶. میانگین بلندمدت (۱۹۹۲-۲۰۲۲) دمای آغاز فصل تابستان به درجه سلسیوس.



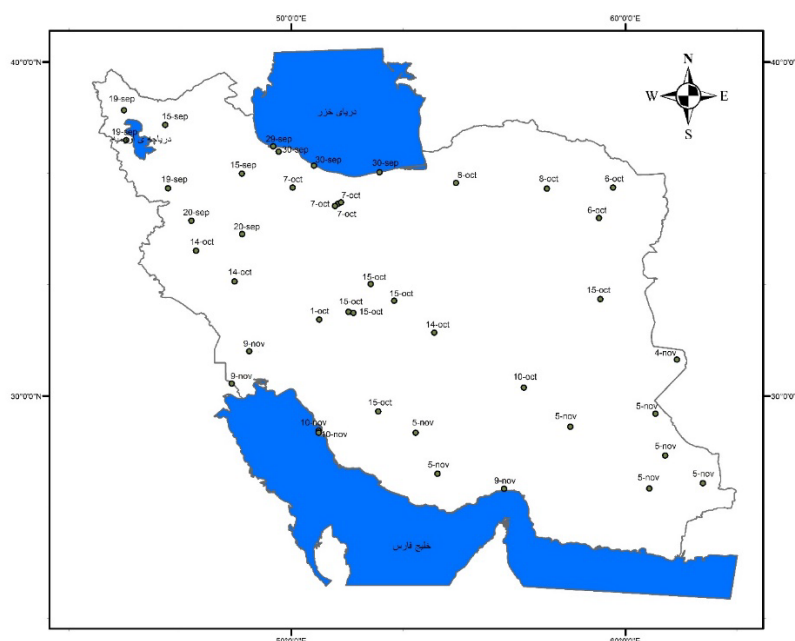
شکل ۷. میانگین بلندمدت (۱۹۹۲-۲۰۲۲) طول فصل تابستان (واحد: تعداد روز).

ج) پاییز

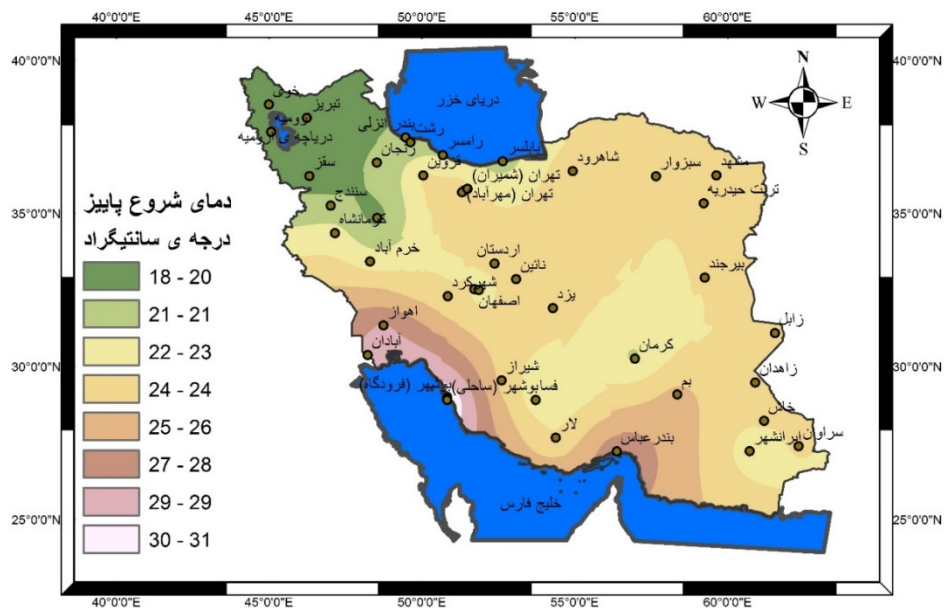
به طور متوسط در مناطق شمال‌غربی، غربی، شمال‌شرقی و ارتفاعات جنوب‌غربی ایران شروع پاییز از اواسط تا اواخر سپتامبر است به نحوی که پاییز در این مناطق زودتر از بقیه مناطق ایران شروع می‌شود. همچنین در جنوب‌غرب و جنوب ایران فصل پاییز از اواسط ماه نوامبر آغاز می‌شود. در این مناطق پاییز دیرتر از بقیه مناطق ایران شروع می‌شود (شکل ۸). به طور کلی پاییز در نواحی جنوب‌غربی، جنوبی و مرکزی ایران با دمای بالاتری (از ۲۵ تا ۳۱ درجه سلسیوس) آغاز می‌شود که نشان می‌دهد این مناطق پاییز گرم‌تری را تجربه می‌کنند. در مقابل، پاییز در نواحی غربی، شمال‌غربی، شمالی و شرقی ایران با دمای پایین‌تری آغاز می‌شود که از ۶ تا ۲۲ درجه سلسیوس متغیر است که نشان‌دهنده پاییز سردتر در این مناطق است (شکل ۹). در بیشتر نقاط ایران، فصل پاییز بین ۷۴ تا ۹۷ روز طول می‌کشد. کوتاه‌ترین فصل پاییز از ۴۵ تا ۶۲ روز در استان‌های خوزستان، هرمزگان و مازندران مشاهده می‌شود که به دلیل تاثیر آب دریا بر روی کاهش نوسان دما می‌باشد. در مقابل طولانی‌ترین فصل پاییز با ۸۶ تا ۹۷ روز در نیمه غربی کشور، شمال‌غرب، سواحل غربی دریای خزر و شمال‌شرق کشور رخ می‌دهد (شکل ۱۰).

د) زمستان

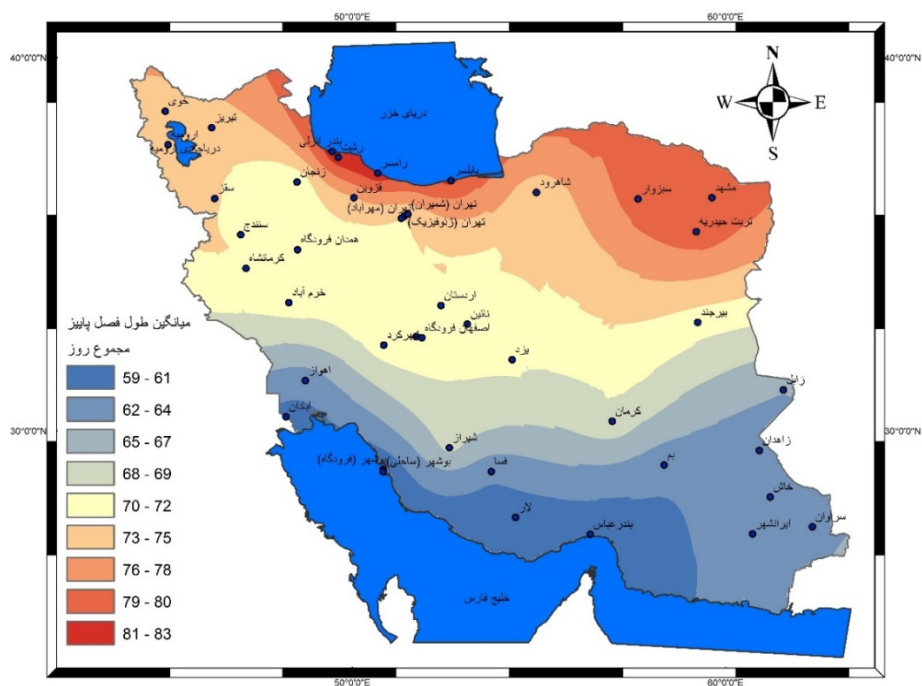
به طور میانگین مناطق جنوبی، جنوب‌غربی، جنوب‌شرقی ایران زمستان دیرتر از بقیه مناطق شروع می‌شود. زمستان در این مناطق بین اول ژانویه تا اواسط فوریه شروع می‌شود. مناطق شمال‌غربی، غربی، دامنه‌های البرز و شمال‌شرق ایران زودتر از بقیه مناطق زمستان شروع می‌شود. زمان شروع زمستان در این مناطق بین اواخر ماه نوامبر تا اواسط ماه دسامبر است (شکل ۱۱). کمترین دمای شروع فصل زمستان بین ۳ تا ۵ درجه سلسیوس در نواحی شمال‌غرب، غرب و شمال‌شرق رخ داده است. یعنی این مناطق زمستان سردتری دارند. این در حالی است که بیشترین دمای شروع زمستان، بین ۱۸ تا ۲۱ درجه سلسیوس است که در مناطق جنوب‌غربی و جنوبی کشور مشاهده می‌شود. این مناطق زمستان نسبتاً گرم‌تری دارند (شکل ۱۲). کوتاه‌ترین زمستان ۳۵ تا ۴۵ روز است که در مناطق جنوبی، جنوب‌غربی، جنوب‌شرقی و مرکزی کشور مشاهده می‌شود. زمستان کوتاه به دلیل تاثیر جریانات گرم جنوبی ناشی از پشته جنب حاره بر روی این مناطق است. در مقابل بلندترین فصل زمستان با ۸۴ تا ۱۲۱ روز در سال در نواحی شمال‌غرب، غرب، کوه‌های البرز، شمال، شمال‌شرق و ارتفاعات جنوب‌غربی ایران رخ می‌دهد (شکل ۱۳).



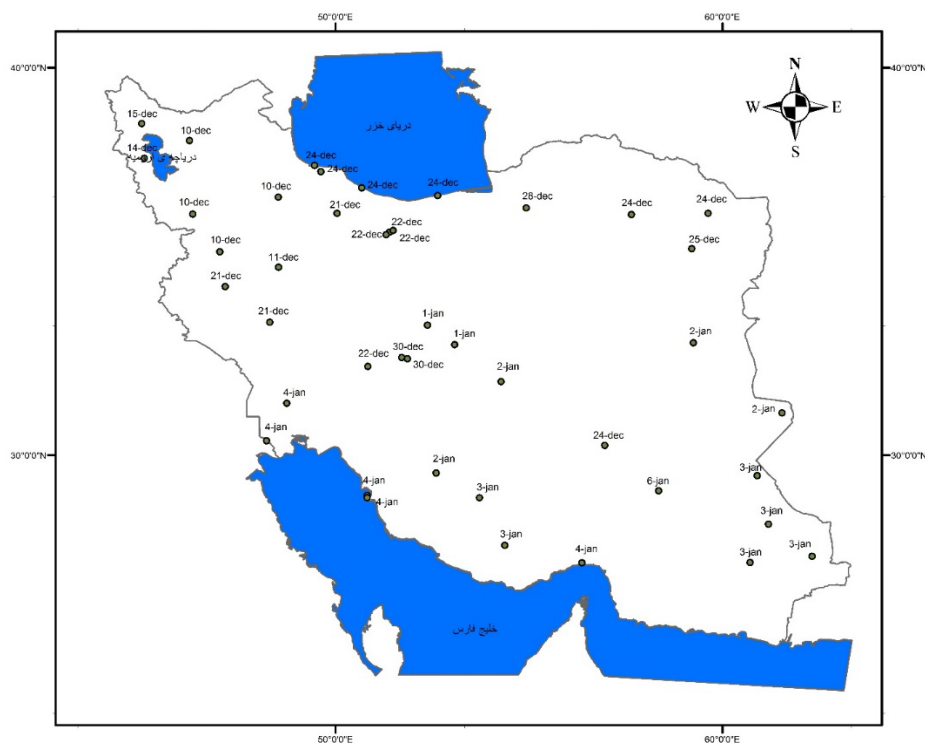
شکل ۸. میانگین بلندمدت (۱۹۹۲-۲۰۲۲) زمان آغاز فصل پاییز



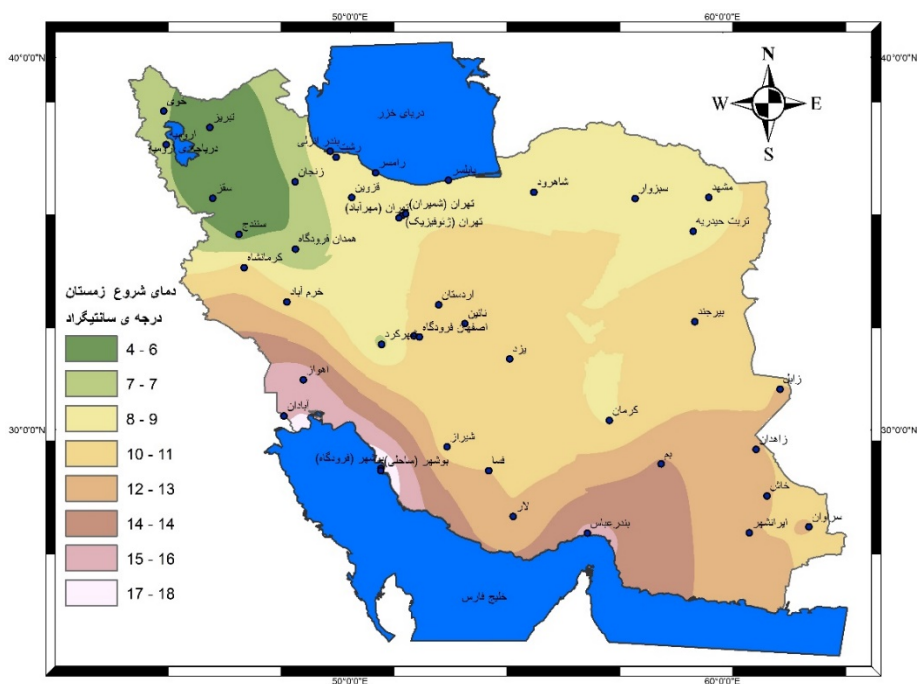
شکل ۹. میانگین بلندمدت (۱۹۹۲-۲۰۲۲) دمای آغاز فصل پاییز به درجه سلسیوس.



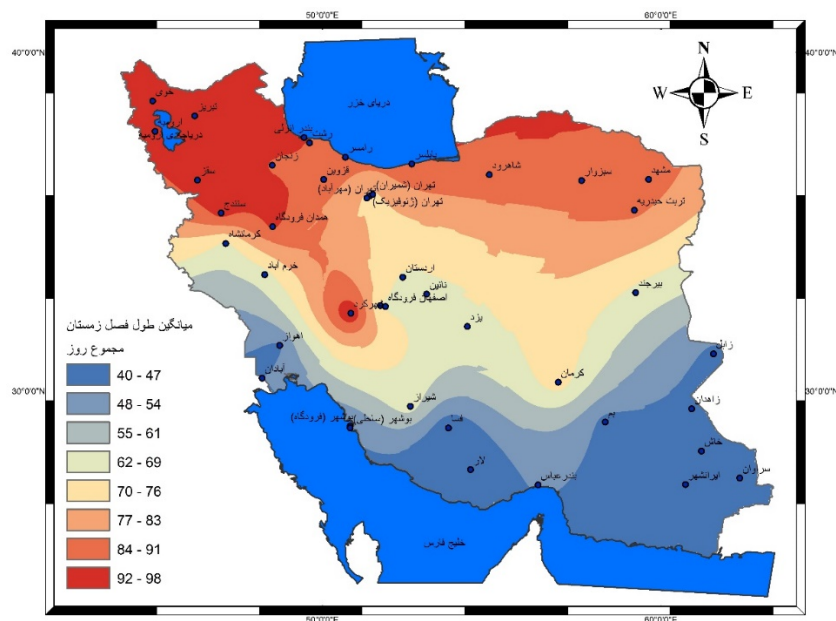
شکل ۱۰. میانگین بلندمدت (۱۹۹۲-۲۰۲۲) طول فصل پاییز (واحد: تعداد روز).



شکل ۱۱. میانگین بلندمدت (۱۹۹۲-۲۰۲۲) زمان آغاز فصل زمستان



شکل ۱۲. میانگین بلندمدت (۱۹۹۲-۲۰۲۲) دمای آغاز فصل زمستان به درجه سلسیوس.



شکل ۱۳. میانگین بلندمدت (۱۹۹۲-۲۰۲۲) طول فصل زمستان (واحد: تعداد روز).

نتیجه‌گیری

تفاوت‌های جغرافیایی و توپوگرافیک و نیز تأثیر توده‌های گوناگون در طول سال، سبب اختلاف دمایی چشمگیری در ایران می‌شود که نتیجه آن، تفاوت در ویژگی‌های فصول در مناطق مختلف کشور است. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه ۳۵ ایستگاه همدید طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۲)، زمان آغاز، پایان و طول فصول دمایی ایران بررسی شد. برخلاف برخی مطالعات پیشین که معتقد بودند مناطق ساحلی جنوبی و شمالی تنها دو فصل (تابستان گرم و فصل انتقالی خنک) دارند (عزیزابراهیم و همکاران، ۱۴۰۱)، نتایج این تحقیق نشان داد کل ایران دارای چهار فصل اقلیمی متمایز است. با این حال، زمان، دمای آغاز و پایان و همچنین طول فصول اقلیمی در مناطق مختلف کشور با هم تفاوت دارد و برخی مناطق الگوهای فصلی خاصی دارند. به‌طور میانگین، تابستان و زمستان طولانی‌ترین فصول کشور هستند. فصل بهار از اواسط فوریه در جنوب، مرکز، جنوب‌غرب، غرب و جنوب‌شرق کشور آغاز می‌شود و سپس در اواخر مارس در شمال‌غرب، شمال، دامنه‌های البرز و ارتفاعات غرب شروع می‌شود. کوتاه‌ترین بهار حدود ۲ ماه و نیم در جنوب، جنوب‌غرب و مرکز ایران و طولانی‌ترین آن بیش از ۳ ماه است در مناطق کوهستانی نیمه غربی، جنوب‌غرب، شمال‌غرب و ارتفاعات کرمان مشاهده

می‌شود. به لحاظ دمایی، بهار در جنوب و جنوب‌غرب ایران با دمای نسبتاً بالا (۱۵ تا ۱۹ درجه سلسیوس) آغاز شده و در شمال‌غرب، غرب، شمال و ارتفاعات ایران مرکزی (کرمان)، به علت ارتفاع و عرض جغرافیایی بالاتر، با دمای پایین‌تر (۹ تا ۱۱ درجه) شروع می‌شود. تابستان از اواخر ماه آوریل و اوایل ماه می در جنوب، جنوب‌شرق، جنوب‌غرب، شرق و مرکز کشور شروع می‌شود و در شمال‌غرب از اواخر ژوئن آغاز می‌شود. کوتاه‌ترین تابستان‌ها (۹۱ تا ۱۰۳ روز) در نواحی مرتفع غرب، جنوبی، غربی (چهارمحال و بختیاری) و شمال‌غرب، و طولانی‌ترین تابستان‌ها (۱۷۳ تا ۱۹۶ روز) در جنوب، جنوب‌غرب، جنوب‌شرق و مرکز کشور مشاهده می‌شود. این مناطق علاوه بر عرض جغرافیایی پایین، کم ارتفاع نیز هستند و تحت تأثیر پرفشار جنب‌حاره‌ای قرار دارند. تابستان در ایران با دمایی بین ۱۹ تا ۳۱ درجه سلسیوس آغاز می‌شود؛ مناطق جنوب و جنوب‌غربی گرم‌ترین شروع تابستان (۲۹ تا ۳۱ درجه) را دارا هستند و خنک‌ترین شروع تابستان (۱۹ تا ۲۱ درجه) در شمال‌غرب و غرب کشور مشاهده می‌شود. پاییز ابتدا از اواسط سپتامبر در شمال‌غرب و غرب آغاز شده و تا اوایل نوامبر در جنوب و جنوب‌غرب کشور ادامه می‌یابد. کوتاه‌ترین پاییز (۵۹ تا ۶۴ روز) در نیمه جنوبی، جنوب‌غربی و جنوب شرقی و طولانی‌ترین آن (۷۹ تا ۸۳ روز) در شمال و شمال‌شرق مشاهده می‌شود. از نظر دما، پاییز

- Journal of Climatology, 24(8), 1013–1021. <https://doi.org/10.1002/joc.1037>.
6. Alsop, T. J. (1989). The natural seasons of western Oregon and Washington. *Journal of Climate*, 2(8), 888–896. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1989\)002<0888: TNSOWO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1989)002<0888: TNSOWO>2.0.CO;2)
 7. Ataei, H., & Rahimi Patagh, H. (2015). Thermal zoning of the onset and end of seasons in Kurdistan Province using modern statistical methods. In *International Conference on Architecture, Urban Planning, Civil Engineering, Art, and Environment*, Tehran. <https://civilica.com/doc/608537>.
 8. Aziz Ebrahim, M., Saligheh, M., Naserzadeh, M. H., & Alijani, B. (2022). The role of climate change in shifting Iran's climatic seasons. *Applied Research in Geographical Sciences*, 22(64), 1–16. <https://sid.ir/paper/956220/fa>.
 9. Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2010). *Atmosphere, Weather and Climate*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203871027>
 10. Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2010). *Atmosphere, weather and climate* (9th ed.). Routledge.
 11. Beele, E., Reyniers, M., Aerts, R., & Somers, B. (2022). Quality control and correction method for air temperature data from a citizen science weather station network in Leuven, Belgium. *Earth System Science Data*, 14(4681–4717). <https://doi.org/10.5194/essd-14-4681-2022>
 12. Blazejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., & Tinz, B. (2012). Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 515–535. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0453-2>
 13. Chen, J., Gupta, A. K., & Gupta, A. K. (2000). *Parametric Statistical Change Point Analysis*. Birkhäuser. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3131-6>
 14. Chen, Y., & Qin, X. (2022). The impact of extreme temperature shocks on the health status of the elderly in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 15729. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315729>
 15. Cheng, S., & Kalkstein, L. S. (1997). Determination of climatological seasons for the U.S. East Coast using air-mass classification. *Climate Research*, 8, 107–116. <https://doi.org/10.3354/cr008107>
 16. Czernecki, B., & Mietus, M. (2017). Thermal seasons variability in Poland (1951–2010). *Theoretical and Applied Climatology*, 127,

با دمای ۱۸ تا ۳۱ درجه آغاز می‌شود. گرم‌ترین شروع پاییز (۲۹ تا ۳۱ درجه) در جنوب و جنوب‌غرب کشور است و سردترین آغاز پاییز (۱۸ تا ۲۱ درجه) در شمال‌غرب و غرب کشور رخ می‌دهد. در مناطق شمال‌غرب، کوهستان‌های غرب و جنوب‌غرب، به دلیل نفوذ جریان‌های جنب‌قطبی و تأثیر ارتفاع، زمستان زودتر آغاز می‌شود و از این رو طولانی‌تر است. در شرق و جنوب کشور، زمستان دیرتر شروع شده و کوتاه‌تر است. در دیگر مناطق، فصل زمستان از اوایل ژانویه آغاز شده و به طور میانگین تقریباً ۳ ماه ادامه دارد. زمان آغاز زمستان از اوایل دسامبر در شمال‌غرب و غرب تا اوایل ژانویه در جنوب، جنوب‌غرب و جنوب‌شرق کشور رخ می‌دهد. کوتاه‌ترین زمستان‌ها (۴۰ تا ۵۴ روز) در جنوب، جنوب‌غرب، جنوب‌شرق و مرکز و طولانی‌ترین آن (۸۴ تا ۹۸ روز) در شمال‌غرب، البرز، زاگرس، شمال‌شرق و غرب کشور مشاهده می‌شود. این مناطق ارتفاع بالا و عرض جغرافیایی بیشتری دارند و تحت تأثیر امواج سرد شمالی قرار می‌گیرند. کمترین دمای آغاز زمستان (۴ تا ۶ درجه) مربوط به شمال‌غرب و غرب است که این به معنی زمستان سردتر این نواحی است. بیشترین دمای زمستانه (۱۵ تا ۱۸ درجه) در مناطق جنوب و جنوب‌غرب مشاهده شده است که نشان‌دهنده زمستان‌های گرم‌تر این مناطق است.

منابع

1. Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T. C., & Wieringa, J. (2003). Guidelines on climate metadata and homogenization (WMO-TD No. 1186; WCDMP No. 53). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
2. Alijani, B. (1997). Determination of natural seasons in Iran. *Journal of Geographical Research*, 35, 21–33.
3. Alijani, B. (2002). *Synoptic Climatology*. SAMT Publications, Tehran.
4. Allen, M. J., & Sheridan, S. C. (2016). Evaluating changes in season length, onset, and end dates across the United States (1948–2012). *International Journal of Climatology*, 36(3). <https://doi.org/10.1002/joc.4422>
5. Alpert, P., Osetinsky, I., Ziv, B., & Shafir, H. (2004). A new season's definition based on classified daily synoptic systems: An example for the eastern Mediterranean. *International*

- Hazards, 5(4), 57–71. <https://doi.org/10.22067/geo.v5i4.57806>.
28. Goldreich, Y., & Chermoni, Z. (2006). Changes in summer season length in the Middle East. *Climate Change in the Middle East Conference*.
 29. Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press. https://books.google.com/books/about/Geostatistics_for_Natural_Resources_Eval.html?id=CW-7tHAAVR0C.
 30. Hamidianpour, M., Nazaripour, H., Khezaei Feyzabad, E., Farzaneh, M., & Firoozeh, S. (2023). Determining the changepoint of temperature thresholds of heat and cold waves in Iran during the statistical period 1966–2018. *Natural Environmental Hazards*, 12(37), 133–150. <https://doi.org/10.22111/jneh.2023.144464.1940>
 32. Hekmatzadeh, A., Ghavidel Rahimi, S., & Homaei, M. (2020). A non-threshold-based approach for determining the onset and cessation of thermal seasons. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3–4), 1307–1317. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03156-w>
 33. Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature—A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 71–75. <https://doi.org/10.1007/s004840050118>
 34. IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
 35. Jaagus, J., Truu, J., Ahas, R., & Aasa, A. (2003). Spatial and temporal variability of climatic seasons on the East European Plain. *Climate Research*, 23(2), 111–129. <http://www.jstor.org/stable/24868340>
 36. Jordan, E., Shekhar, A., & Gharun, M. (2024). Assessing the volatility of daily maximum temperature across Germany between 1990 and 2022. *Atmosphere*, 15(7), 838. <https://doi.org/10.3390/atmos15070838>
 37. Karimi, S. (2018). Determination of the onset and end of thermal seasons using refined natural-season approaches (Case study: Kerman Province). *Natural Environmental Hazards*, 7(18), 147–168. <https://doi.org/10.22111/jneh.2018.20399.1260>
 38. Khalili, K., Tahoudi, M. N., Mirabbasi, R., et al. (2016). Spatial and temporal variability of precipitation in Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30, 1205–1221. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1095-4>
 39. Khosravi, A., & Azhari, M. (2022). Determination of temporal and spatial trends 481–493. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1647-z>.
 17. Daly, C. (2006). Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets. *International Journal of Climatology*, 26(6), 707–721. <https://doi.org/10.1002/joc.1322>
 18. Diaz, J., Linares, C., Negev, M., & Martinez, G. S. (2020). *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin*. First Mediterranean Assessment Report.
 19. Dobesch, H., Dumolard, P., & Dyras, I. (2013). *Spatial interpolation for climate data: the use of GIS in climatology and meteorology*. John Wiley & Sons. DOI:10.1002/9780470612262.
 20. Dong, W., Jiang, Y., & Yang, S. (2010). Response of the starting dates and the lengths of seasons in China to global warming. *Climatic Change*, 99, 81–91. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9669-0>.
 21. Doostan, R., & Alijani, B. (2023). Evaluating the onset, end, and length of seasons in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 151, 13–28. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04259-2>.
 22. Durre, I., Menne, M. J., Gleason, B. E., Houston, T. G., & Vose, R. S. (2010). Comprehensive automated quality assurance of daily surface observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(8), 1615–1633. <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2375.1>
 23. Dwyer, J. G., Biasutti, M., & Sobel, A. H. (2012). Projected changes in the seasonal cycle of surface temperature. *Journal of Climate*, 25(18), 6359–6374. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00702.1>
 24. Farajzadeh, H., Saligheh, M., & Alijani, B. (2016). Application of the Universal Thermal Climate Index (UTCI) in Iran from a tourism perspective. *Natural Environment Hazards*, 5(7), 117–138. <https://doi.org/10.22111/jneh.2016.2658>
 25. Fosu-Mensah, B. Y., Vlek, P. L. G., & MacCarthy, D. S. (2012). Farmers' perception and adaptation to climate change. *Environment, Development and Sustainability*, 14, 495–505. <https://doi.org/10.1007/s10668-012-9339-7>
 26. Gandomkar, A. (2007). Identification of climatic seasons using cluster analysis (Case study: Isfahan City). *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information 'Sepehr'*, 16(61), 62–64. (In Persian)
 27. Gholipour, J., Sanaei-Nejad, M., Mofidi, A., & Alizadeh, A. (2016). Determining the onset of summer in Iran based on the sudden northward jump of the subtropical jet over the Middle East. *Geography and Environmental*

- Stats, 6(1), 113–130. <https://doi.org/10.3390/stats6010007>.
51. Nazaripour, H., & Saeidabadi, R. (2012). Determination of the climatic seasons of Zahedan using cluster analysis. *Journal of Geography and Development*, 10(26), 87–97. <https://doi.org/10.22111/gdij.2012.427>.
 52. North, G. R., Wang, J., & Genton, M. G. (2011). Sampling errors in climate statistics. *Journal of Climate*, 24(10), 2498–2515. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4086.1>
 53. Pena-Ortiz, C., Barriopedro, D., & Garcia-Herrera, R. (2015). Multidecadal variability of summer length in Europe. *Journal of Climate*, 28, 5375–5388. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00429.1>
 54. Philipp, A. (2009). PCA vs cluster analysis for synoptic classification. *Theoretical and Applied Climatology*, 96, 31–41. <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0037-1>
 55. Qian, C., Fu, C., & Wu, Z. (2011). Changes in the amplitude of the temperature annual cycle in China and their implications for climate change research. *Climate Dynamics*, 37(5–6), 821–834. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0890-6>.
 56. Reeves, J., Chen, J., Wang, X. L., Lund, R., & Lu, Q. (2007). Review of changepoint detection techniques. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46(6), 900–915. <https://doi.org/10.1175/JAM2493.1>
 57. Reeves, J., Chen, J., Wang, X. L., Lund, R., & Lu, Q. Q. (2007). A review and comparison of changepoint detection techniques for climate data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46(6), 900–915. <https://doi.org/10.1175/JAM2493.1>
 58. Rezaei, P., Roshani, M., & Mohammadi-Moqaddam, M. (2015). Determination of natural seasons of the southern Caspian Sea using multivariate statistical methods (Case study: Gilan Province). *Geographical Space*, 15(50), 165–181. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-۱-۱۸۹۳-fa.html>.
 59. Rodionov, S. N. (2004). A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters*, 31(9), L09204. <https://doi.org/10.1029/2004GL019448>.
 60. Ruosteenoja, K., Markkanen, T., & Räisänen, J. (2019). Thermal seasons in projected future climate. *International Journal of Climatology*, 40(10), 4444–4462. <https://doi.org/10.1002/joc.6466>.
 61. Sagheblian, S. M., Sattari, M. T., Mirabbasi, R., & Pal, M. (2014). Groundwater quality classification using decision trees. *Arabian* and changepoints of temperature and precipitation in the Kashafrud Basin. *Applied Research in Geographical Sciences*, 22(66), 289–306. <https://sid.ir/paper/966923/fa>.
 40. Khosravi, M., & Nazaripour, H. (2010). Determining the climatic seasons of Zahedan for energy management using cluster analysis. In 4th International Congress of Geographers of the Islamic World, Zahedan. <https://civilica.com/doc/82749>.
 41. Kitowski, M., Marosz, M., & Mietus, M. (2019). Thermal season start and length in Poland (1971–2010). *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 129, 89–106. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2019.1.6>
 42. Kotsias, G., Lolis, C. J., Hatzianastassiou, N., et al. (2022). Comparison of seasonal definitions in the Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 42, 1954–1974. <https://doi.org/10.1002/joc.7345>.
 43. Kumar, S. T. P., Lahiri, B., Reddy, R. S., & Devi, K. (2023). Trend analysis and changepoint detection of monthly and seasonal climatic parameters. *Theoretical and Applied Climatology*, 152(1–2), 675–689. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102104>
 44. Lamb, H. H. (1950). Types and spells of weather around the year in the British Isles. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 76, 393–438. <https://doi.org/10.1002/qj.49707633005>.
 45. Li, J., & Heap, A. D. (2014). A review of spatial interpolation methods for environmental scientists. *Geoscience Australia Record*, 2014/10, 1–137. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.008>
 46. Lund, R., & Reeves, J. (2002). Detection of undocumented changepoints. *Journal of Climate*, 15(17), 2547–2554. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<2547:DOUCPA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<2547:DOUCPA>2.0.CO;2)
 47. Majewski, G., & Przewozniczuk, W. (2014). Thermal seasons in Warsaw (1961–2013). *Miscellanea Geographica*, 18, 41–46. <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2014-0025>
 48. Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58(8), 1246–1266. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>
 49. Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2010). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—Application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 54(2), 131–139. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0261-0>
 50. Monteiro, M., & Costa, M. (2023). Change-Point Detection by State Space Modeling of Long-Term Air Temperature Series in Europe.

69. Wijngaard, J. B., Klein Tank, A. M. G., & Können, G. P. (2003). Homogeneity of European temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 23(6), 679–692. <https://doi.org/10.1002/joc.906>
70. Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (3rd ed.). Academic Press.
71. World Meteorological Organization. (2017). *WMO guidelines on climate data rescue* (WMO-No. 1235).
72. Xavier, P. K., Marzin, C., & Goswami, B. N. (2007). Definition of Indian summer monsoon season. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 133(624), 749–764. <https://doi.org/10.1002/qj.45>
73. Yarnal, B. (1993). *Synoptic climatology in environmental analysis*. Belhaven Press.
74. Zhao, K., Wulder, M. A., Hu, T., Bright, R., Wu, Q., Qin, H., Li, Y., Toman, E., Mallick, B., & Zhang, X. (2019). Detecting change-point, trend, and seasonality in satellite time series data to track abrupt changes and nonlinear dynamics: A Bayesian ensemble algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111181. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.034>.
75. Zolfaqari, H. (2005). Investigation of natural seasons in Kermanshah Province. *Geographical Research*, 20(1), 90–106. <https://sid.ir/paper/29916/fa>.
76. Zolfaqari, H., Masoumpour Samakoosh, J., Jalilian, A., & Fat'h Nia, E. (2013). Determining synoptic patterns and air masses affecting the climatic seasons of western Iran. *Journal of Physical Geography Research*, 45(1), 53–70. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2013.30435>.
- Journal of Geosciences, 7, 4767–4777. <https://doi.org/10.1002/joc.6466>.
62. Sedaghat, M., & Nazaripour, H. (2022). Analysis of summer season onset variability in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 147(1), 549–558. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03852-1>
63. Shakouri, A., & Morseli, E. (2018). Investigating the influence of climatic and environmental factors on improving water productivity. *Spatial Planning and Land Use*, 22(2), 47–73. <http://hsmsp.modares.ac.ir/article-۲۱-۱۶۷۸۱-fa.html>.
64. Sheridan, S. C. (2002). The redevelopment of a weather-type classification scheme for North America. *International Journal of Climatology*, 22(1), 51–68. <https://doi.org/10.1002/joc.709>.
65. Shi, X., Liu, S., & Li, Q. (2022). Changepoint detection: An analysis of the Central England Temperature series. *International Journal of Climatology*, 42(3), 1543–1558. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0489.1>
66. Thomson, D. (2009). Shifts in season. *Nature*, 457, 391–392. <https://doi.org/10.1038/457391a>.
67. Trenberth, K. E. (1983). What are the seasons? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64(11), 1276–1282. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1983\)064<1276: WATS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1983)064<1276: WATS>2.0.CO;2)
68. Wang, J., Guan, Y., Wu, L., et al. (2021). Changing lengths of the four seasons by global warming. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091753. <https://doi.org/10.1029/2020GL091753>