



ISSN 2251-7480

نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال هشتم، شماره اول، پاییز ۱۳۹۷

## بررسی تغییرات بلندمدت دمای هوا در سطح کشور با استفاده از داده‌های پایگاه اطلاعاتی CRU TS

هادی رضائی اعتدالی<sup>۱\*</sup>، بهنام آبابایی<sup>۲</sup> و عباس کاویانی<sup>۳</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی<sup>(د)</sup>، قزوین، ایران.

\*نویسنده مسئول مکاتبات: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir

۲- پژوهشگر Centre for Crop Science، دانشگاه کوئینزلند، استرالیا.

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی<sup>(د)</sup>، قزوین، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۰

### چکیده:

بررسی تغییر اقلیم کمک شایانی در مدیریت منابع آب و تولیدات کشاورزی خواهد کرد. افزایش دما یکی از جنبه‌های قطعی تغییر اقلیم محسوب می‌گردد. محدودیت تعداد ایستگاه‌های هواشناسی و کیفیت و طول دوره داده‌های اقلیمی از مهمترین عوامل محدودکننده در بررسی تغییرات اقلیمی است. بهره‌گیری از داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی شبکه‌بندی‌شده از راهکارهای رفع این محدودیت است. در این مطالعه از داده‌های پایگاه اطلاعاتی CRU TS (نسخه ۴/۰۱) شامل میانگین‌های ماهانه متوسط، کمینه و بیشینه روزانه دما در سطح کشور برای تحلیل روند تغییرات متوسط‌های سالانه، فصلی و ماهانه با استفاده از آزمون من-کندال اصلاح شده استفاده شد. نتایج نشان می‌دهند در دوره ۲۰۱۶-۱۹۸۷ (دوره دوم) نسبت به دوره ۱۹۸۶-۱۹۵۷ (دوره اول)، متوسط روزانه دما در مقیاس سالانه و در مناطق مختلف کشور، بین ۰/۴ تا ۱/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. متوسط روند افزایش دما در طول سه دهه اخیر در سطح کشور، ۰/۳۹ درجه سانتی‌گراد در دهه (۱/۱۷) درجه سانتی‌گراد در سی سال) برآورد شد. افزایش کمینه روزانه دما در مقیاس سالانه در طول دوره دوم، بیش‌تر از افزایش متوسط روزانه دما و در حدود ۱/۲۳ درجه سانتی‌گراد در سی سال بوده است. بررسی روند تغییرات میانگین‌های فصلی نشان می‌دهد که فصول زمستان و بهار، به‌خصوص در استان‌های غربی و شمال‌غربی کشور، بیش‌ترین روند افزایش دما را طی سه دهه اخیر تجربه کرده‌اند. نتایج این تحقیق وقوع تغییرات معنی‌دار در دما در فصول زمستان، بهار و تابستان را که اهمیت زیادی برای کشاورزی کشور دارند تأیید می‌کنند.

**کلید واژه‌ها:** آزمون من-کندال؛ تغییر اقلیم؛ دمای بیشینه؛ دمای کمینه؛ میانگین سالانه و فصلی

### مقدمه

افزایش دما و کاهش بارندگی را برای منطقه خاورمیانه پیش‌بینی کرده است (IPCC, 2012). از میان مؤلفه‌های مهم اقلیمی مؤثر بر تولیدات کشاورزی، دما همواره از اهمیت زیادی برخوردار است. دما بر روی نیاز آبی، زمان کاشت، طول فصل رشد و عملکرد گیاهان زراعی و باغی تأثیر می‌گذارد (آبابایی، ۱۳۹۱؛ Ababaei et al., 2014). بنابراین تغییر اقلیم که با افزایش دما در کشور ما همراه خواهد بود اثرات چشمگیری بر تولیدات و اقتصاد کشاورزی خواهد

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های بشر در بخش‌های مختلف مانند کشاورزی، محیط زیست و صنعت است. مهم‌ترین رخدادی که در تغییر اقلیم به آن اشاره می‌شود افزایش دما است (Alexander et al., 2006). متوسط افزایش دمای جهانی در دوره ۲۰۰۱-۱۹۷۹، ۰/۳-۰/۱۹ درجه سانتی‌گراد در هر دهه گزارش شده است (Simmons et al., 2004). IPCC در گزارش‌های مختلف

از جهان با کمبود اطلاعات زمانی و مکانی از ایستگاه‌های زمینی مواجه‌اند ( Hughes *et al.*, 2006; Sue *et al.*, 2008; Worqlul *et al.*, 2015). فن‌آوری‌های ماهواره‌ای و مدل‌های عمومی گردش جو داده‌های شبکه‌بندی با توان تفکیک مکانی و زمانی بالا را در اختیار پژوهشگران در حوزه‌های مختلف از جمله مدل‌سازی گیاهی قرار می‌دهند و این گزینه می‌تواند کمبود اطلاعات ایستگاه‌های زمینی را به ویژه در مناطقی که از این حیث با کمبود مواجه هستند تا حدود زیادی برطرف سازد. داده‌های این پایگاه‌های اطلاعاتی مانند GPCP, CRU, NCEP, CFSR, ECMWF و SAFRAN, PERSIANN بر خلاف ایستگاه‌های هواشناسی زمینی، دارای مشکل عدم پیوستگی مکانی و زمانی نمی‌باشند ( Greene and Morrissey, 2000; Steiner *et al.*, 2003; Hong *et al.*, 2006; AghaKouchak *et al.*, 2009).

مطالعات متعددی در زمینه کاربرد داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی انجام شده است ( Javanmard *et al.*, 2010; Katirai-Boroujerdy, 2013; Dee *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2013; Kidd *et al.*, 2013; Zhao and Yatagai, 2014; Tong *et al.*, 2014; De Leeuw *et al.*, 2015; Ghajarnia *et al.*, 2015; Krogh *et al.*, 2015; Tan *et al.*, 2015; Moazami *et al.*, 2016; Dembele and Zwart, 2016; Duan *et al.*, 2016; Ashouri *et al.*, 2016; Raziei and Shi, 2017). همکاران (۲۰۱۷) از داده‌های شبکه‌بندی‌شده بارندگی CRU برای منطقه کوهستانی که سرچشمه سه رودخانه در چین بود استفاده و با داده‌های بارندگی که از ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری شده بود مقایسه کردند. نتایج نشان داد برآورد انحراف معیار بارش داده‌های پایگاه اطلاعاتی CRU دقت بیشتری نسبت به مقدار مطلق داده‌های بارش دارند و این برای استفاده از این اطلاعات برای تحلیل روندهای مکانی و زمانی بسیار مهم است. Hadi و Tombul (۲۰۱۸) از داده‌های بارندگی و دما پایگاه‌های اطلاعاتی CRU برای بررسی تغییرات زمانی- مکانی در سطح کشور ترکیه استفاده کردند. نتایج نشان داد روند بارندگی در سطح کشور معنی‌دار نبوده ولی روند افزایش دما معنی‌دار و حدود ۰/۸۸ درجه سانتی‌گراد در

داشت. تحقیقات بسیار زیادی در سطح داخلی اثر تغییر اقلیم و افزایش دما را تولید محصولات کشاورزی و اقتصاد کشاورزی بیان داشته‌اند. آبابایی (۱۳۹۱) و Ababaei و همکاران (۲۰۱۴) اثر تغییر اقلیم را بر جریان ورودی به سد طالقان و نیاز آبی و عملکرد محصولات عمده زراعی در شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین بررسی کردند و تغییرات عملکرد محصولات مختلف را تحت سناریوهای تغییر اقلیم، بین ۱۴٪ کاهش و ۲۲٪ افزایش برآورد نمودند. خالقی و همکاران (۱۳۹۴) اثر تغییر اقلیم در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ را کاهش ۵/۴ درصدی تولید کشاورزی پیش‌بینی کردند. واتقی و اسماعیلی (۱۳۸۷) کاهش ۴۱ درصدی عملکرد گندم را به دلیل اثرات زیان‌بار تغییر اقلیم در سطح کشور تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی نمودند.

در سطح بین‌المللی نیز اثر تغییر اقلیم به‌خصوص افزایش دما و کاهش بارندگی بر کشاورزی مورد مطالعه قرار گرفته است. Leichenko و همکاران (۲۰۱۱) هزینه تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی را ۱۴۰ تا ۲۸۹ میلیون دلار در ایالت نیویورک برآورد نمودند. Lambi و Molua (۲۰۰۷) کاهش درآمد خالص کشاورزی در کامرون را در اثر افزایش ۲/۵ درجه سانتی‌گراد دمای متوسط حدود ۰/۵ میلیارد دلار تخمین زدند. Ouedraogo و همکاران (۲۰۰۶) کاهش ۷۲ درصدی درآمد کشاورزان را در اثر افزایش دما تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی کردند. Deschenes و Greenstone (۲۰۰۶) زیان ۵۸۰، ۶۱۰ و ۲۴۰۰ میلیون دلاری را برای بخش کشاورزی به ترتیب برای ایالت‌های اکلاهما، کلرادو و کالیفرنیا پیش‌بینی کردند. Thurlow و همکاران (۲۰۰۹) خسارت ۴/۳ تا ۷/۱ میلیارد دلاری بر روی کشاورزی زامبیا داشته باشد.

بررسی مطالعات مختلف نشان می‌دهد تخمین صحیح دما به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی و بررسی روند تغییرات آن در گذشته کمک شایانی به ایجاد آمادگی برای مقابله و سازگاری با خطرات و خسارت‌های احتمالی تغییرات اقلیمی می‌کند. در حال حاضر بخش‌های عمده‌ای

طول یک قرن بوده است. در ایران نیز پژوهش‌هایی در خصوص استفاده از پایگاه‌های اطلاعاتی CRU صورت پذیرفته است. میری و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی داده‌های بارندگی ماهانه پایگاه اطلاعاتی GPCC و داده‌های بارش، دمای کمینه، بیشینه و میانگین پایگاه اطلاعاتی CRU و مقایسه با ایستگاه‌های هواشناسی زمینی کل سطح کشور پرداختند. نتایج نشان داد داده‌های بارندگی GPCC و داده‌های دمایی CRU در کشور دقت بالاتری دارند. عینی و همکاران (۱۳۹۷) از داده‌های دما و بارش پایگاه‌های NCEP CFSR و CRU برای شبیه‌سازی رواناب حوضه دریاچه مهارلو با استفاده از مدل SWAT بهره بردند. نتایج شبیه‌سازی مدل بارش- رواناب نشان داد هر دو پایگاه اطلاعاتی دقت بالایی در شبیه‌سازی رواناب داشته و البته دقت پایگاه اطلاعاتی CRU بیش‌تر است.

دمای سطح زمین نتیجه میزان انرژی دریافت شده در سطح سیاره و میزان انرژی بازتاب‌شده از این سطح به صورت امواج با طول موج بلند می‌باشد. از آنجا که میزان انرژی دریافت شده (حتی در بلندمدت) تغییرات ناچیزی دارد، تغییرات دمای سطح زمین شاخص مهمی از میزان غلظت آلاینده‌های جو سیاره و گازهای گلخانه‌ای است که جلوی خروج بخشی از انرژی دریافت شده را می‌گیرند (Hansen et al., 2010; IPCC, 2014) و تغییرات اقلیمی را ایجاد می‌کنند. تولیدات گیاهی به تغییرات اقلیمی، به‌ویژه تغییرات در متوسط و نوسانات دما و بارندگی، حساس هستند (Eyshi Rezaei et al., 2015; Webber et al., 2018). در این میان، تغییرات دما احتمالاً بیش‌ترین تأثیرات منفی را بر عملکرد محصولات کشاورزی خواهد داشت (Zhao et al., 2017). سازگاری با تغییرات دما نیازمند راهبردهای سازگاری متفاوتی در مقایسه با بارندگی است (Asseng et al., 2015). اهمیت دیگر تغییر در دمای سطح زمین در تأثیر آن بر فشار بخار آب نهفته است. اگر رطوبت نسبی ثابت باقی بماند، رطوبت ویژه (SH) با افزایش دما به‌صورت نمایی افزایش پیدا کرده و به این ترتیب اقلیم

نسبت به نیروهای محرک خارجی حساسیت بیشتری خواهد داشت (Ingram, 2002). از سوی دیگر افزایش دما باعث افزایش کمبود فشار بخار (VPD) و تعرق از پوشش گیاهی می‌شود (Allen et al., 1998) که در ترکیب با کاهش بارندگی می‌تواند سهم تنش خشکی در کاهش تولیدات گیاهی را افزایش دهد. مطالعات منطقه‌ای و جهانی حاکی از نرخ متفاوت تغییرات حداقل و حداکثر دما می‌باشند (Alexander et al., 2006; Davy et al., 2017) که مؤید لزوم تحلیل جداگانه تغییرات این دو متغیر اقلیمی است.

بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد بیشتر پژوهش‌های صورت گرفته بر ارزیابی دقت داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی CRU و یا استفاده از این داده‌ها در شبیه‌سازی رواناب و سیلاب متمرکز بوده است. مطالعات اندکی در خصوص استفاده از داده‌های این پایگاه‌های اطلاعاتی برای بررسی روند تغییرات و آشکارسازی تغییر اقلیم در مناطق مختلف کشور در مقیاس فصلی و ماهانه صورت گرفته است. با توجه به گزارش‌هایی که در خصوص دقت قابل قبول پایگاه اطلاعاتی CRU در تحلیل روند وجود دارد (Shi et al., 2017; Harris et al., 2014)، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی روند تغییرات متوسط‌های سالانه، فصلی و ماهانه بیشینه، کمینه و متوسط روزانه دما با استفاده از اطلاعات ماهانه پایگاه CRU در سطح ایران برای ارزیابی میزان تغییر اقلیم در دو دوره ۳۰ ساله اخیر، ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۱۹۸۷-۲۰۱۶ می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

ایران در منطقه خاورمیانه واقع و بین عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۳/۵ درجه شرقی قرار دارد. مساحت کشور حدود ۱/۶۴ میلیون کیلومتر مربع و شامل ۳۱ استان می‌باشد (شکل ۱). کشور

سالانه، داده‌های ماهانه دما برای ۶۷۵ نقطه (سلول) بر روی شبکه برای کل سطح کشور استخراج گردید (شکل ۱).



شکل ۱. تقسیمات کشوری ایران (بالا) و نقاط منتخب شبکه پایگاه اطلاعاتی CRU (راست).

#### بررسی روند

برای بررسی روند از شکل اصلاح شده‌ای از آزمون من-کندال (Mann, 1945; Kendall, 1975) استفاده شد که بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. محاسبات روش استاندارد آزمون من-کندال در منابع مختلف تشریح شده است (Shadmani et al., 2012; Harris et al., 2014). در این پژوهش روند زمانی تغییرات دما با روش Yue و همکاران (۲۰۰۲) مورد تحلیل قرار گرفت که از یک روش پیش‌پردازش برای حذف تأثیر خودهمبستگی استفاده می‌کند. در این روش، خودهمبستگی مثبت در سری زمانی داده‌ها که باعث برآورد غیردقیق روند زمانی می‌شود حذف می‌شود (Yue et al., 2002). ایشان برای حذف تأخیر خودهمبستگی،

در منطقه‌ی معتدل-خشک شمالی و در عرض میانی و جنب استوایی و استوایی قرار دارد. وضعیت جغرافیایی و دوری از اقیانوس‌ها و دریاهای بزرگ موجب شده تا آب و هوای ایران خشک و بَری باشد، اما به دلیل وسعت بسیار و وجود عوارض مختلف مانند کوهستان‌های بلند در شمال و غرب، دشت‌های مرکزی در داخل فلات و مجاورت با دریای خزر و خلیج فارس و اقیانوس هند باعث تنوع‌های اقلیمی متنوعی در ایران شده است. دی و مرداد به ترتیب با دمای میانگین ۱۰-۵ و ۳۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد سردترین و گرم‌ترین ماه‌های کشور هستند. زمستان‌های سرد با بارش برف سنگین و بهار و پاییز معتدل در شمال-غرب کشور و تابستان‌های داغ در جنوب و جنوب‌غربی ایران متداول است (Saboochi et al., 2012).

#### داده‌های شبکه‌بندی پایگاه اطلاعاتی CRU TS

مدل CRU یک مدل شبیه‌سازی دینامیکی بوده و از داده‌های هواشناسی زمینی ثبت شده در سطح جهان بهره می‌برد. تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده برای سال‌های ابتدایی این داده‌ها یعنی سال ۱۹۰۱، ۴۹۵۷ ایستگاه و در سال ۱۹۸۱ به ۱۴۵۷۲ ایستگاه افزایش یافته است. پایگاه داده‌های اقلیمی CRU TS علاوه بر قدرت مکانی بالا، دوره زمانی بلندمدت‌تری را نسبت به سایر داده‌های جهانی پوشش می‌دهد (۱۹۰۱-۲۰۱۶). این داده‌ها توسط دانشگاه East Anglia در انگلستان تهیه شده است. اندازه شبکه‌بندی این پایگاه ۵/۵×۵ درجه جغرافیایی و شامل ۱۰ متغیر هواشناسی یعنی میانگین دمای روزانه (TMP)، میانگین ماهانه دماهای کمینه (TMN) و بیشینه (TMX)، محدوده دمای روزانه، بارندگی، فشار بخار آب، پوشش ابر، تعداد روزهای مرطوب، تعداد روزهای یخبندان و تبخیر و تعرق پتانسیل است (عینی و همکاران، ۱۳۹۷; Harris et al., 2014). پایگاه اطلاعاتی CRU TS نسخه ۴/۰۱ در دوره ۲۰۱۶-۱۹۰۱ در این مطالعه استفاده شد. برای بررسی و ارزیابی روند متوسط‌های ماهانه، فصلی و

داده‌های سری زمانی برآورد می‌کند و از سال ۱۹۸۲ بعنوان روشی شناخته شده برای تحلیل روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیک به کار گرفته می‌شود (Yue et al., 2002). به منظور حذف تأثیر خودهمبستگی مرتبه یک، ابتدا ضریب خودهمبستگی ( $r_1$ ) مرتبه یک از رابطه (۵) (با فرض  $k$  برابر ۱) محاسبه می‌شود:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} [X_t - E(X_t)][X_{t+k} - E(X_t)]}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [X_t - E(X_t)]^2} \quad (5)$$

$$E(X_t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_t \quad (6)$$

سپس، روند سری زمانی با استفاده از رابطه (۷) حذف می‌گردد:

$$Y_t^{RT} = X_t - bt \quad (7)$$

که در آن  $b$  شیب روند و  $X_t$  مقدار سری زمانی در زمان  $t$  است. سپس، با استفاده از مقدار ضریب خودهمبستگی مرتبط ۱ محاسبه شده، تأثیر خودهمبستگی مرتبه ۱ از سری حاصل از اعمال این رابطه حذف می‌شود:

$$Y_t = Y_t^{RT} - r_1 Y_{t-1}^{RT} \quad (8)$$

از بسته zyp در زبان برنامه‌نویسی R (Bronaugh and Werner, 2015) برای بررسی روند استفاده شد. همچنین سطح ۹۰ درصد برای بررسی تغییرات و روند دما استفاده شد. در این تحقیق به دلیل اهمیت دمای کمینه و بیشینه به خصوص در مورد تأثیر تنش‌های گرمایی و سرمایایی بر محصولات کشاورزی، علاوه بر میانگین سالانه، فصلی و ماهانه دما، مقادیر کمینه و بیشینه روزانه نیز مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین برای ارزیابی مقادیر دماهای ماهانه پایگاه اطلاعاتی CRU نسبت به ایستگاه‌های منتخب، از شاخص‌های RMSE و  $R^2$  استفاده شد.

## نتایج و بحث

### ارزیابی داده‌های دما پایگاه اطلاعاتی CRU

دقت داده‌های دما پایگاه CRU در دوره ۱۹۵۱-۲۰۱۶ (شکل ۲) در ۱۴ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در کشور که

روش TFPW را پیشنهاد کرده‌اند. در این روش شیب سری زمانی داده‌ها با استفاده از روش Theil-Sen برآورد می‌شود (Theil, 1950; Sen, 1968; Hipel and McLeod, 1994). اگر این شیب تقریباً برابر با صفر باشد، روندی در سری زمانی داده‌ها وجود ندارد. در غیر این صورت، روند خطی فرض می‌شود. شیب این روند خطی از سری زمانی کاسته و سری زمانی اصلاح می‌شود. در ادامه خودهمبستگی زمانی مرتبه ۱ محاسبه شده و از سری زمانی اصلاح شده حذف می‌گردد. روند و باقیمانده‌ها با هم ترکیب شده و آزمون من-کندال برای بررسی سطح معنی‌داری روند در سری زمانی نهایی استفاده می‌شود.

آماره آزمون من-کندال به شرح رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (1)$$

که در آن  $X_j$  مقادیر متوالی داده‌ها،  $n$  طول نمونه داده‌ها و  $\text{sgn}$  تابع علامت است (+۱ برای اعداد مثبت، -۱ برای اعداد منفی و صفر برای صفر). در صورتی که  $n \geq 8$ ، آماره  $S$  تقریباً دارای توزیع احتمال نرمال با میانگین صفر است که واریانس آن از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{m=1}^n t_m m(m-1)(2m+5)}{18} \quad (2)$$

که در آن  $t_m$  تعداد گره‌های با طول  $m$  است. آماره  $Z$  استاندارد این آزمون از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

این آماره از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس واحد پیروی می‌کند. شیب روند با استفاده از رابطه (۴) قابل محاسبه است (Theil, 1950; Sen, 1968):

$$b = \text{Median} \left( \frac{X_j - X_i}{j-i} \right) \quad \forall i < j \quad (4)$$

که در آن  $b$  شیب روند و  $X_i$  و  $X_j$  نشان‌دهنده آمین و زامین مقدار در سری زمانی است. این رابطه، شیب روند را به صورت میانه شیب محاسبه شده در بین هر جفت از

می‌شود. افزایش دما در این ناحیه بیش‌تر از دو ناحیه دیگر بوده است (۰/۸ تا ۱/۲ درجه سانتی‌گراد).

برای بررسی دقیق‌تر روند تغییر اقلیم در این دو دوره، روندهای زمانی متوسط روزانه دما در هر دوره در شکل (۴) بررسی شده‌اند. در دوره اول تقریباً در کل کشور روند معنی‌داری در تغییر متوسط روزانه دما مشاهده نمی‌شود، بغیر از بخش کوچکی در غرب کشور و در استان‌های مرکزی، لرستان، همدان و کرمانشاه که در آن‌ها روند کاهشی مشاهده می‌شود. برعکس در دوره دوم، روند افزایشی در متوسط روزانه دما در کل کشور مشاهده می‌شود. در این دوره روند افزایشی به‌طور میانگین ۰/۳۹ درجه سانتی‌گراد در هر دهه برآورد شد (۱/۱۷ درجه سانتی‌گراد در سی سال) و این در حالی است که میانگین روند افزایش دما از سال ۱۹۰۱ تا سال ۲۰۱۶ حدود ۰/۱۴ درجه سانتی‌گراد در دهه (۱/۴) درجه سانتی‌گراد در یک قرن) بوده است. روند افزایش دما در دوره دوم در همه مناطق بیش‌تر از روند جهانی افزایش دما (۰/۱۹ - ۰/۳۰ در دوره ۲۰۰۱-۱۹۷۹؛ Simmons et al., 2004) برآورد گردید.

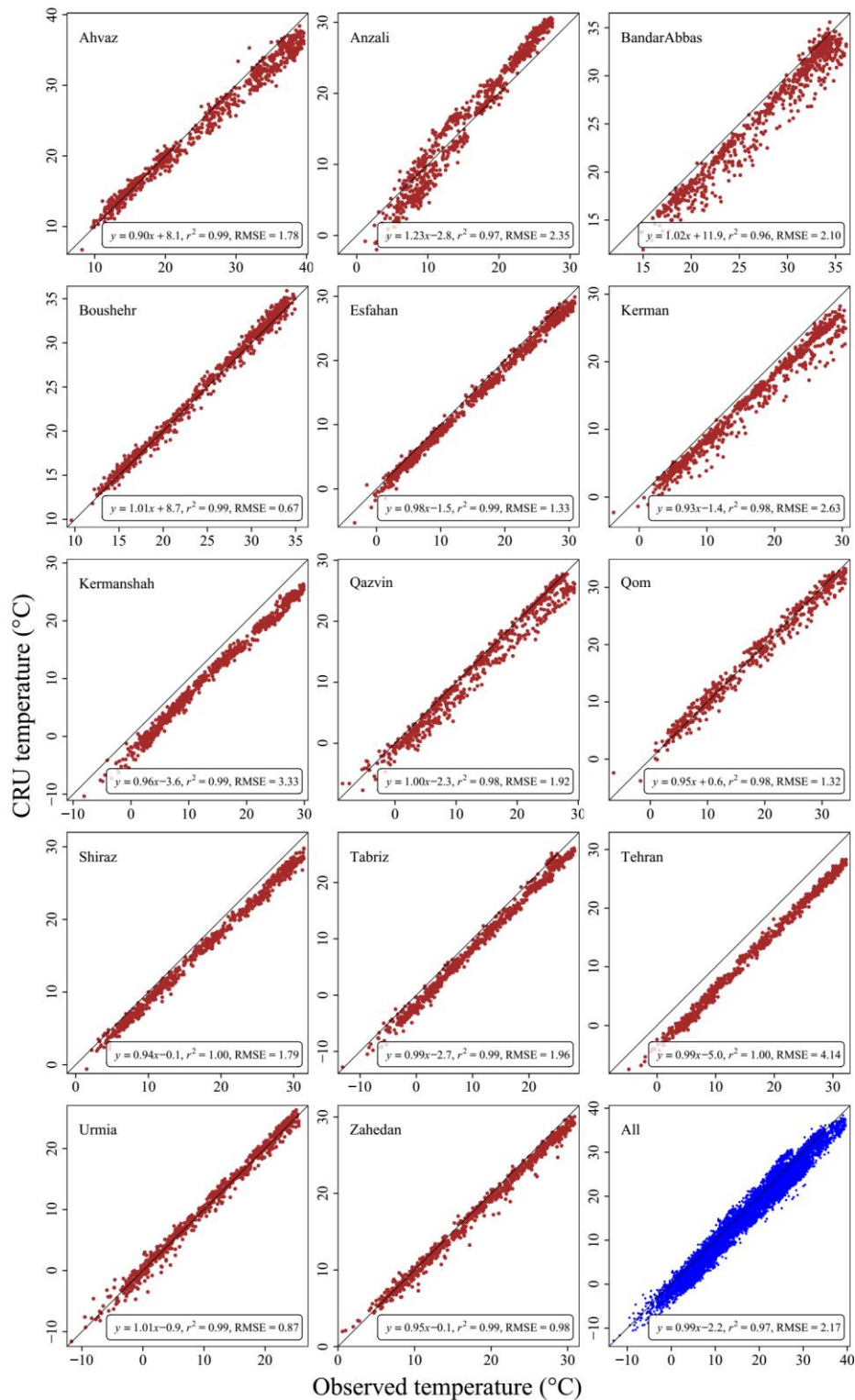
تغییرات میانگین‌های سالانه کمینه و بیشینه روزانه دما در دو دوره سی ساله در شکل (۵) ارائه شده است. افزایش دمای کمینه در دوره دوم نسبت به دوره اول، در دو ناحیه تقریباً مجزا در نیمه‌شرقی و نیمه غربی کشور مشاهده می‌شود. افزایش کمینه دما در مقیاس سالانه در استان‌های نیمه‌غربی بین ۰/۵ تا ۱/۰ درجه سانتی‌گراد و در استان‌های نیمه‌شرقی بین ۱/۰ تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. افزایش کمینه روزانه دما در دوره دوم نسبت به دوره اول، بیشتر از متوسط روزانه دما بوده است (شکل ۲). در مورد دمای بیشینه، افزایش در دوره دوم نسبت به دوره اول در جنوب استان سیستان و بلوچستان معنی‌دار نبوده است اما در بخش‌هایی از کشور افزایش بیشینه روزانه دما تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود. در بیش‌تر سطح کشور

سابقه طولانی‌تری داشتند بررسی گردید. در تمامی ایستگاه‌های منتخب که در نواحی مختلف کشور واقع شده‌اند دقت داده‌های پایگاه اطلاعاتی CRU بسیار بالا است. مقادیر RMSE و  $R^2$  بین داده‌های دمای میانگین ماهانه پایگاه اطلاعاتی CRU با تمامی ایستگاه‌های منتخب به‌ترتیب برابر ۲/۱۷ درجه سانتی‌گراد و ۰/۹۷ می‌باشد. دقت مطلوب داده‌های دما پایگاه اطلاعاتی CRU در کشور در مطالعه Miri و همکاران (۲۰۱۷) نیز اشاره شده است. بنابراین با توجه به دقت مطلوب داده‌های دمایی پایگاه اطلاعاتی CRU، از داده‌های آن در این مطالعه استفاده شد.

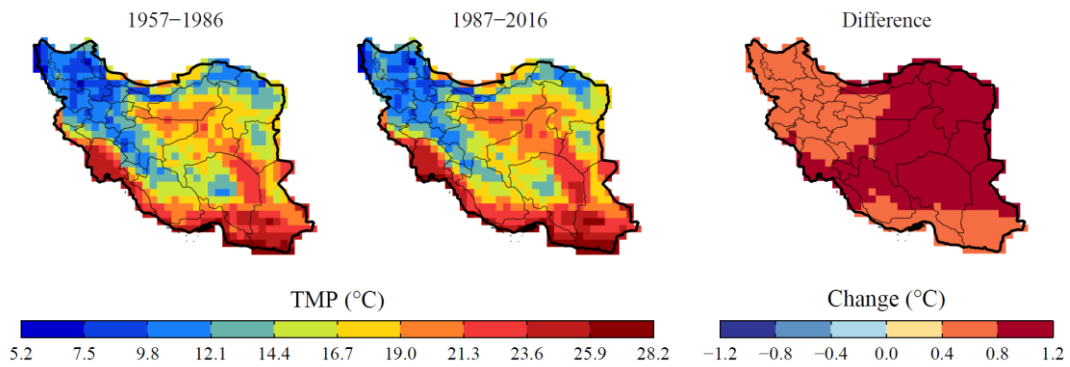
#### میانگین و روند تغییرات دما در مقیاس سالانه

در شکل (۳) مقایسه میانگین‌های سالانه متوسط روزانه دما در دو دوره سی ساله ۱۹۵۷-۱۹۸۶ (دوره اول) و ۱۹۸۷-۲۰۱۶ (دوره دوم) و همچنین اختلاف میانگین‌های ۳۰ ساله در این دو دوره با هم مقایسه شده‌اند. در دوره دوم دما به‌طور متوسط ۰/۴ تا ۱/۲ درجه سانتی‌گراد در کل کشور افزایش داشته است. این افزایش دما در سطح کشور در سه ناحیه مجزا دیده می‌شود. ناحیه اول که میانگین افزایش دما بین ۰/۴ تا ۰/۸ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود در غرب و شمال‌غرب کشور واقع شده و شامل استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، گیلان، قزوین، زنجان، کردستان، کرمانشاه، همدان، ایلام، قزوین، تهران، البرز، قم، مرکزی، لرستان، چهارمحال و بختیاری و بخش‌هایی از استان‌های خوزستان، اصفهان و سمنان می‌باشد. در ناحیه دوم میانگین افزایش دما مانند ناحیه اول بوده و در نوار جنوبی کشور شامل استان هرمزگان و بخش‌های جنوبی استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و فارس مشاهده می‌شود. ناحیه سوم که نسبت به دو ناحیه دیگر وسعت و گستردگی بیش‌تری دارد، شامل استان‌های خراسان رضوی، خراسان شمالی، خراسان جنوبی، یزد، گلستان، مازندران، کهگیلویه و بویراحمد، بوشهر و بخش‌هایی از استان‌های سمنان، سیستان و بلوچستان، کرمان، فارس، خوزستان و اصفهان

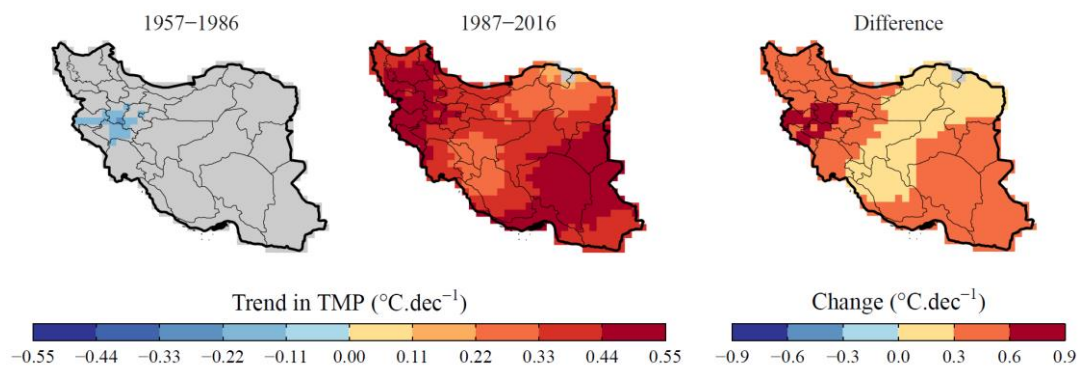
افزایش میانگین سالانه بیشینه روزانه دما در مقیاس سالانه بین ۰/۵ تا ۱/۰ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید.



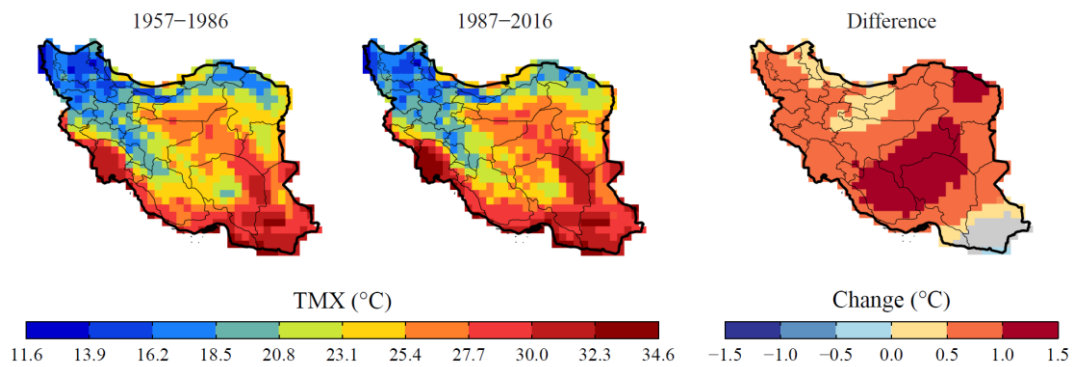
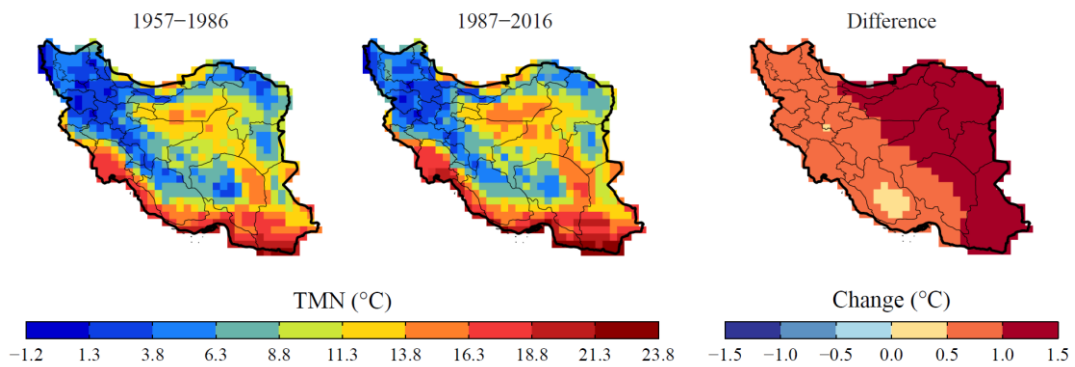
شکل ۲. مقایسه دمای میانگین ماهانه در ۱۴ ایستگاه منتخب کشور با داده‌های پایگاه اطلاعاتی CRU TS



شکل ۳. میانگین سالانه متوسط روزانه دما (TMP) در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۱۹۸۷-۲۰۱۶. تصویر سمت راست از تفاضل میانگین‌ها در سی سال اخیر با دوره قبل از آن به دست آمده است. در نقاط خاکستری، اختلاف در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است (آزمون t).



شکل ۴. روند تغییرات میانگین سالانه متوسط روزانه دما (TMP) در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۱۹۸۷-۲۰۱۶ (بر حسب درجه سانتی‌گراد در دهه). تصویر سمت راست (اختلاف روندها) از تفاضل روندها در سی سال اخیر با دوره قبل به دست آمده است.

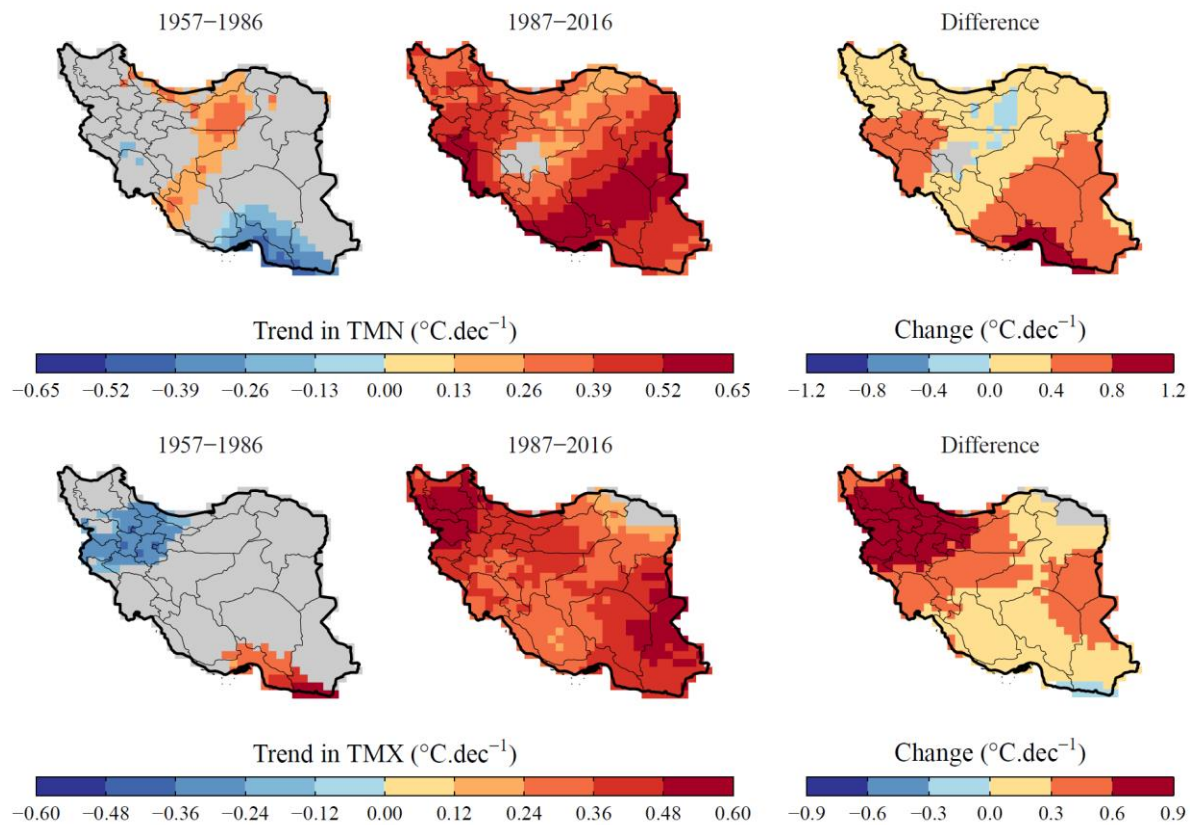


شکل ۵. میانگین سالانه کمینه (TMN) و بیشینه (TMX) دمای روزانه در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۱۹۸۷-۲۰۱۶. تصویر سمت راست از تفاضل میانگین‌ها در سی سال اخیر با دوره قبل از آن به دست آمده است. در نقاط خاکستری، اختلاف در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است (آزمون t).



تشخیص داده شد. اما در دوره دوم، افزایش معنی‌دار در دمای کمینه و بیشینه در کل سطح کشور مشاهده می‌شود. میانگین روند افزایش میانگین سالانه کمینه و بیشینه روزانه دما در دوره دوم به ترتیب ۰/۴۱ و ۰/۳۸ درجه سانتی‌گراد در دهه در کشور برآورد گردید (۱/۲۳ و ۱/۱۴ درجه سانتی‌گراد در سی سال). میانگین روند افزایشی در دمای کمینه و بیشینه از سال ۱۹۰۱ در کشور ۰/۱۴ درجه سانتی‌گراد در دهه بوده که حدود یک سوم روند افزایش دمای کمینه و بیشینه در دوره سی ساله ۱۹۸۷-۲۰۱۶ است.

روند تغییر کمینه و بیشینه روزانه دما در دو دوره سی ساله در شکل (۶) مشخص شده است. در دوره اول در بیش‌تر سطح کشور روند معنی‌داری در تغییرات دمای کمینه و بیشینه مشاهده نمی‌شود. البته در نوار جنوبی شامل استان هرمزگان و جنوب استان کرمان و سیستان و بلوچستان روند کاهشی در دمای کمینه و در بخشی از استان‌های نیمه‌غربی کشور مانند تهران، البرز، قزوین، همدان، مرکزی، لرستان، کردستان، کرمانشاه، زنجان، گیلان و مازندران روند کاهشی در دمای بیشینه در دوره اول



شکل ۶. روند تغییرات میانگین سالانه کمینه و بیشینه دمای روزانه در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۱۹۸۷-۲۰۱۶. در نقاط خاکستری، روند در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است. تصویر سمت راست (اختلاف روندها) از تفاضل میزان روند در سی سال اخیر با دوره قبل از آن به دست آمده است.

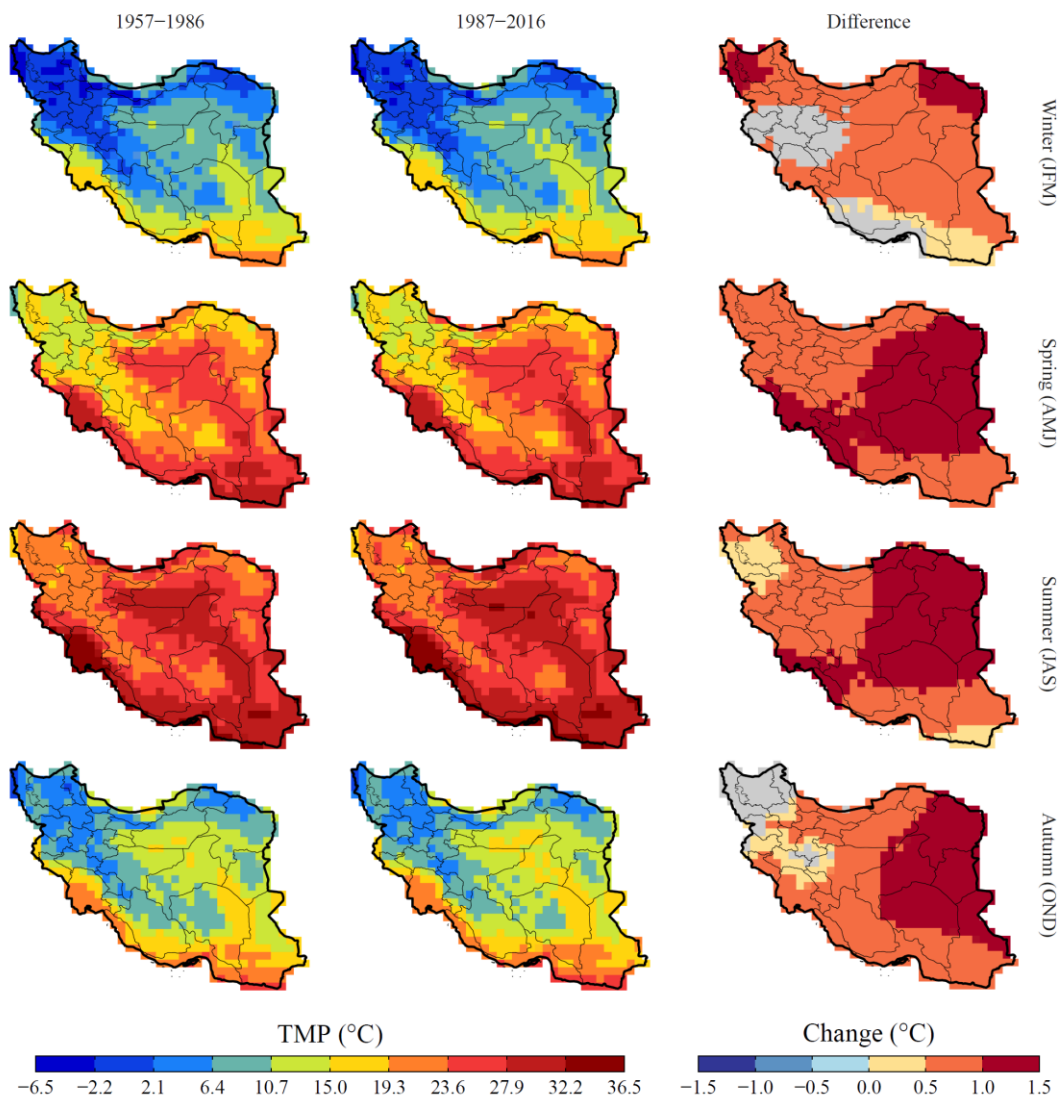
#### میانگین و روند تغییرات دما در مقیاس فصلی

شکل (۷) میانگین‌های فصلی متوسط روزانه دما در دو دوره سی ساله و اختلاف میانگین‌های ۳۰ ساله در طول دو دوره را نمایش می‌دهد. تغییرات متوسط روزانه دما در سه فصل بهار، تابستان و پاییز تقریباً مشابه هستند. در این سه فصل استان‌های مرکزی و شرقی ایران افزایش متوسط

فصلی دما در حدود ۱/۰ تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده‌اند. البته این میزان افزایش در بهار و تابستان به بخش‌های از استان‌های جنوب غربی مانند خوزستان، بوشهر، فارس و کهگیلویه و بویراحمد نیز توسعه پیدا کرده است. تغییرات متوسط روزانه دما در مقیاس سالانه (شکل ۳) بیش‌ترین تأثیر را از شرایط مشابه در سه فصل بهار،

بختیاری و بخش‌هایی از استان‌های اصفهان، خوزستان، بوشهر، هرمزگان و فارس تغییر معنی‌داری در میانگین‌های بلندمدت متوسط روزانه دما بین دو دوره وجود نداشته است. به‌طور کلی در هر چهار فصل، میانگین فصلی متوسط روزانه دما در دوره دوم نسبت به دوره اول تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرده است.

تابستان و پاییز گرفته است. در فصل پاییز در استان‌های شمال‌غربی شامل اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، زنجان و کردستان اختلاف معنی‌داری بین میانگین ۳۰ ساله متوسط روزانه دما در دو دوره مشاهده نمی‌شود. در فصل زمستان هم برخی استان‌های غربی و جنوبی مانند کرمانشاه، ایلام، همدان، مرکزی، لرستان، چهارمحال و



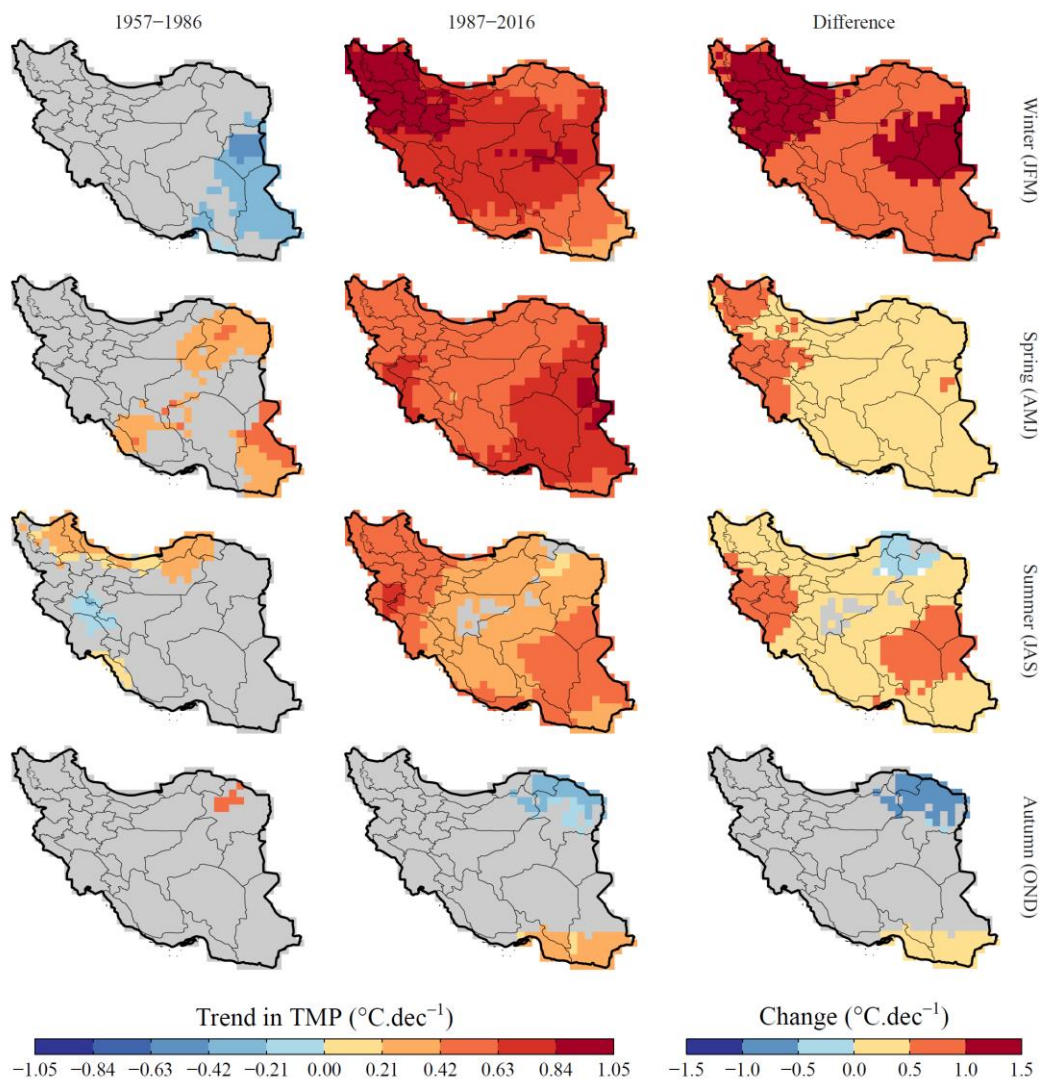
شکل ۷. میانگین فصلی متوسط روزانه دما (TMP) در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۱۹۸۷-۲۰۱۶. تصویر سمت راست از تفاضل میانگین‌ها در سی سال اخیر با دوره قبل از آن به‌دست آمده است. در نقاط خاکستری، اختلاف در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است (آزمون t).

است. میزان روند افزایش متوسط روزانه دما در فصل زمستان در استان‌های غربی و شمال‌غربی کشور شامل استان‌های اردبیل، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کردستان، کرمانشاه، زنجان، همدان و مرکزی تا حدود ۱

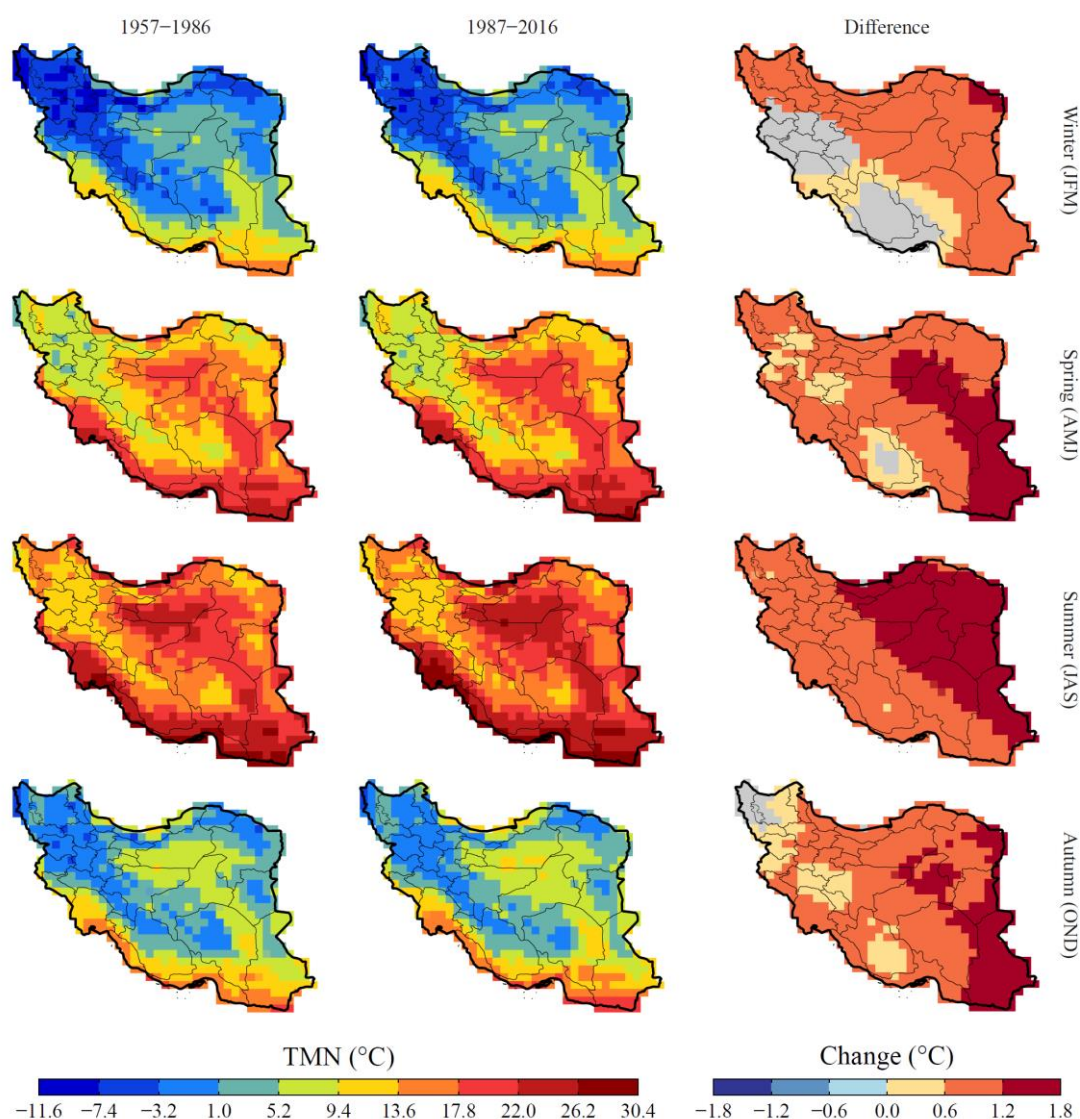
مقایسه روند تغییرات دما در فصول مختلف در هر دو دوره (شکل ۸) نشان می‌دهد بیش‌ترین روند افزایش میانگین فصلی متوسط روزانه دما در طول دوره سی ساله دوم، به‌ترتیب در فصول زمستان، بهار و تابستان رخ داده

دوم، فقط بخش‌های کوچکی در شمال غربی ایران شامل استان خراسان شمالی و بخش‌هایی از استان سمنان و خراسان رضوی روند کاهش متوسط روزانه دما و بخش‌هایی در جنوب شرق کشور شامل جنوب استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و هرمزگان روند افزایشی را در فصل پاییز تجربه کرده‌اند.

درجه سانتی‌گراد در دهه بوده است. این روند افزایش دما در فصل زمستان در استان‌های غربی و شمال غربی می‌تواند به کاهش نزول برف در این دوره مرتبط باشد. بارش برف نقش مهمی در کاهش دما در این استان‌ها داشته و نه تنها در فصل زمستان، بلکه در فصول بهار و تابستان نیز بر روند افزایش دما تأثیر می‌گذارد. فصل پاییز کم‌ترین تغییرات را در کل سطح کشور داشته است. در طول دوره سی ساله



شکل ۸. روند تغییرات میانگین فصلی متوسط روزانه دما (TMP) در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۲۰۱۶-۱۹۸۷. در نقاط خاکستری، روند در سطح ۹۰٪ معنی دار نبوده است. تصویر سمت راست (اختلاف روندها) از تفاضل میزان روند در سی سال اخیر با دوره قبل از آن به دست آمده است.



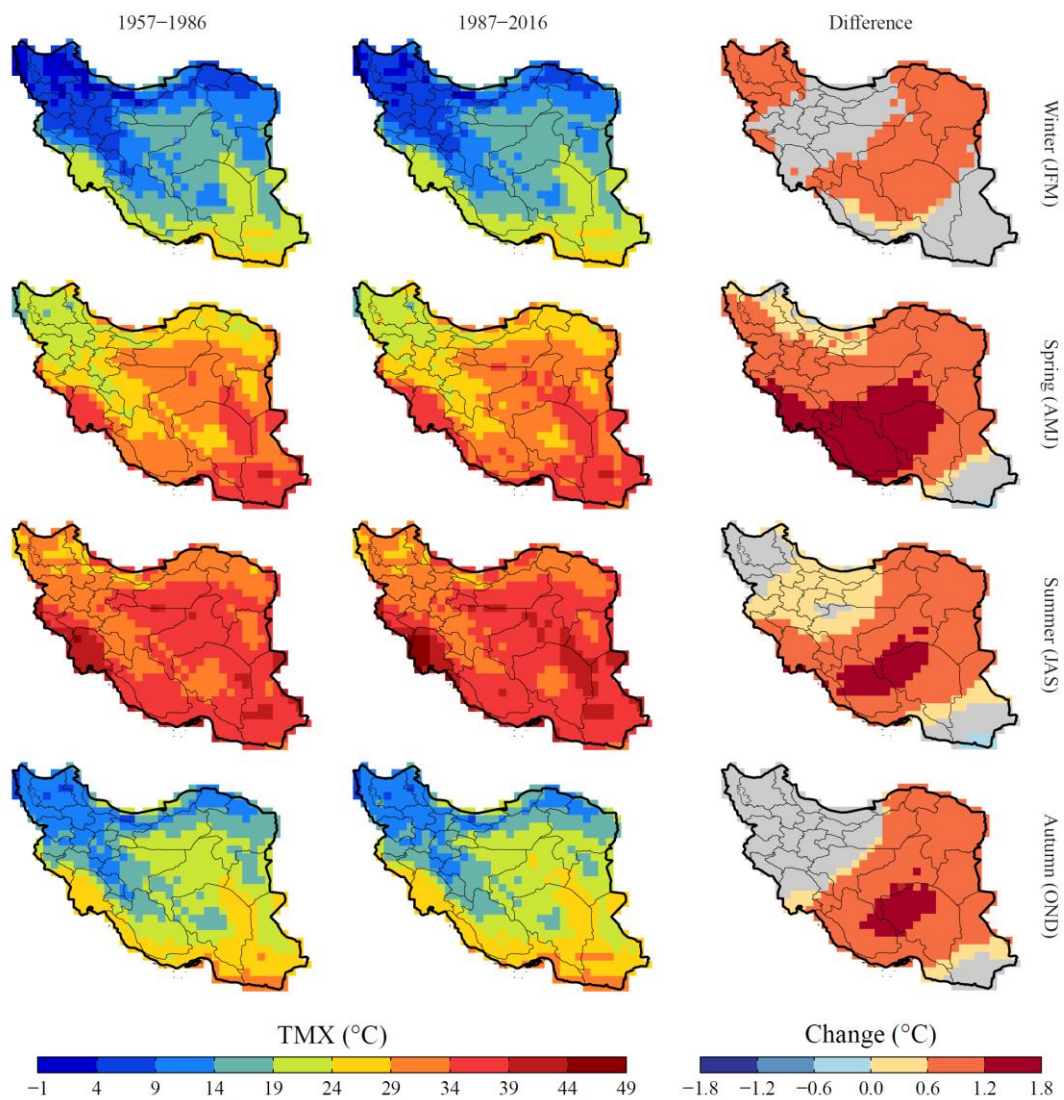
شکل ۹. میانگین‌های فصلی کمینه روزانه دما (TMN) در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۱۹۸۷-۲۰۱۶. تصویر سمت راست از تفاضل میانگین‌ها در سی سال اخیر با دوره قبل از آن به دست آمده است. در نقاط خاکستری، اختلاف در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است (آزمون t).

دارد. نقشه‌ها نشان می‌دهند که بیش‌ترین افزایش در دوره دوم نسبت به دوره اول مربوط به دمای بیشینه در فصل بهار می‌باشد و این بیان‌گر شروع سریع‌تر فصل گرما در کشور در مقایسه با سی سال قبل از آن است. نظر به اهمیت کشت بهاره و با توجه به شروع زودتر فصل گرما در فصل بهار در تمام استان‌های کشور، جلو انداختن تاریخ کاشت کمک بسیاری به کاهش تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان بهاره خواهد کرد. در مورد کشت محصولات پاییزه مانند گندم و جو به دلیل معنی‌دار بودن افزایش دمای کمینه و بیشینه در استان‌های فارس، کرمان، اصفهان، خراسان

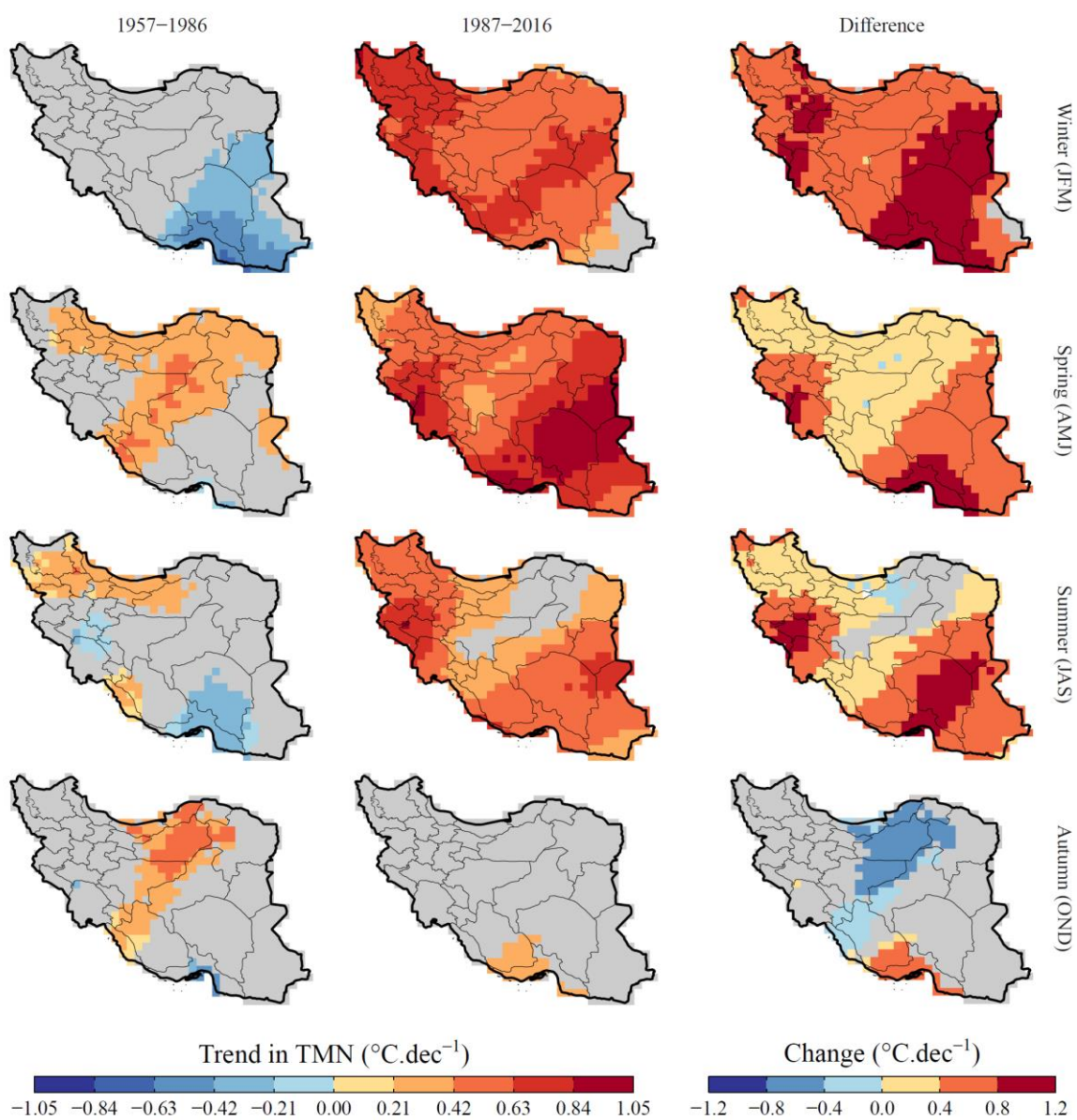
در خصوص کمینه و بیشینه روزانه دما در فصول مختلف نیز نقشه‌ها، افزایش میانگین بلندمدت را در دوره دوم نسبت به دوره اول نشان می‌دهند (شکل ۹ و ۱۰). افزایش میانگین دمای کمینه به‌خصوص در فصل تابستان و در نیمه شرقی کشور بارزتر و تا حدود ۱/۸ درجه سانتی‌گراد بوده است. تغییرات مکانی-زمانی در متوسط سالانه و فصلی دمای کمینه (شکل ۵ و ۹) حکایت از شباهت تغییرات در مقیاس سالانه با تغییرات در فصل تابستان دارد. افزایش دمای بیشینه در دوره دوم نسبت به دوره اول در قیاس با افزایش دمای کمینه گستردگی کم‌تری

بوده و در فصل پاییز الگوی مکانی مشخصی در سطح کشور مشاهده نمی‌شود. نکته قابل توجه دیگر روند افزایشی معنی‌دار دمای بیشینه در استان‌های غربی و شمال‌غربی کشور در دوره دوم است. این روند افزایشی تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد در دهه برآورد می‌شود. افزایش چشمگیر دمای کمینه و بیشینه در فصل زمستان در دوره دوم در کل سطح کشور موضوعی است که بایستی مورد توجه قرار گرفته و برای سازگاری در بخش‌های مختلف با این تغییر، تمهیداتی اندیشه شود.

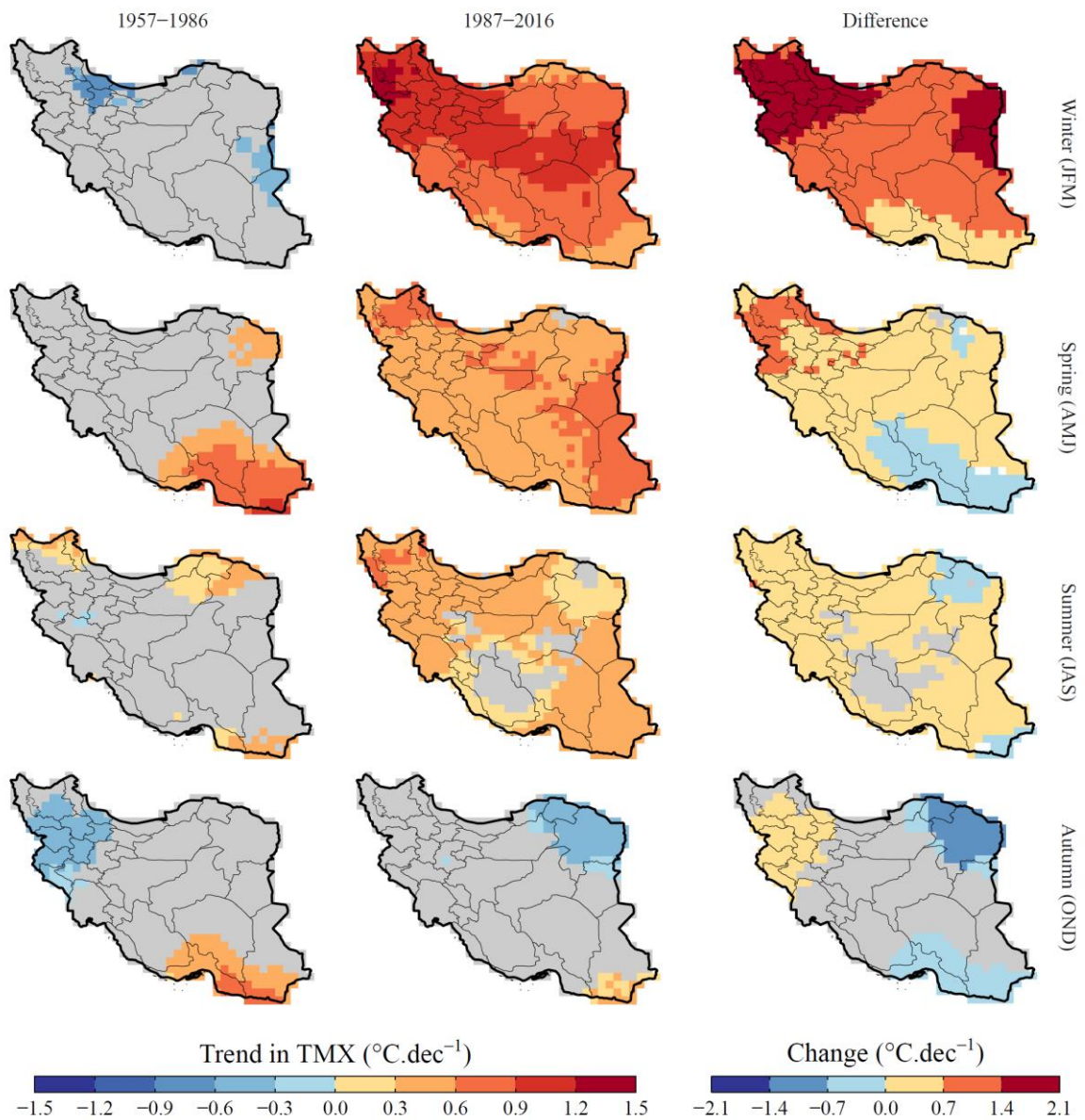
جنوبی، خراسان رضوی، خراسان شمالی، سیستان و بلوچستان، هرمزگان، بوشهر، یزد، کهگیلویه و بویراحمد، سمنان و گلستان، جلو انداختن تاریخ کاشت در فصل پاییز به برداشت سریع‌تر محصولات در فصل بهار و پیش از شروع فصل گرما کمک زیادی خواهد کرد. روند تغییرات میانگین‌های فصلی کمینه و بیشینه روزانه دما در فصول مختلف (شکل ۱۱ و ۱۲) مانند روند تغییرات متوسط روزانه دما در فصول مختلف (شکل ۸) در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان در دوره دوم افزایشی



شکل ۱۰. میانگین‌های فصلی بیشینه روزانه دما (TMX) در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۲۰۱۶-۱۹۸۷. تصویر سمت راست از تفاضل میانگین‌ها در سی سال اخیر با دوره قبل از آن به‌دست آمده است. در نقاط خاکستری، اختلاف در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است (آزمون t).



شکل ۱۱. روند تغییرات میانگین‌های فصلی کمینه روزانه دما (TMN) در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۱۹۸۷-۲۰۱۶. در نقاط خاکستری، روند در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است. تصویر سمت راست (اختلاف روندها) از تفاضل میزان روند در سی سال اخیر با دوره قبل از آن به‌دست آمده است.



شکل ۱۲. روند تغییرات میانگین‌های فصلی بیشینه (TMX) روزانه دما در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۲۰۱۶-۱۹۸۷. در نقاط خاکستری، روند در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است. تصویر سمت راست (اختلاف روندها) از تفاضل میزان روند در سی سال اخیر با دوره قبل از آن به دست آمده است.

#### میانگین و روند تغییرات دما در مقیاس ماهانه

در ادامه به بررسی تغییرات زمانی دما در مقیاس ماهانه پرداخته می‌شود (به دلیل محدودیت در ارائه نتایج، از ارائه شکل‌های مربوط به میانگین‌های ماهانه دما متوسط، کمینه و بیشینه در دو دوره و همچنین روند تغییر دما در دوره اول سی ساله صرف‌نظر گردید). روند تغییرات میانگین‌های ماهانه متوسط روزانه دما در شکل (۱۳) ارائه شده است. روند افزایشی متوسط روزانه دما در تمام ماه‌های سال به

جز آبان و آذر (نوامبر و دسامبر) مشاهده می‌شود. در نوامبر در بخش‌هایی از کشور مانند استان‌های خراسان رضوی، خراسان شمالی، گلستان، سمنان، یزد، اصفهان؛ تهران، البرز، قم، مرکزی، همدان، لرستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان و فارس روند معنی‌دار کاهشی مشاهده می‌شود. اما در بقیه بخش‌های کشور روند معنی‌داری در تغییرات دما دیده نمی‌شود. در دسامبر نیز در هیچ نقطه‌ای از کشور روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

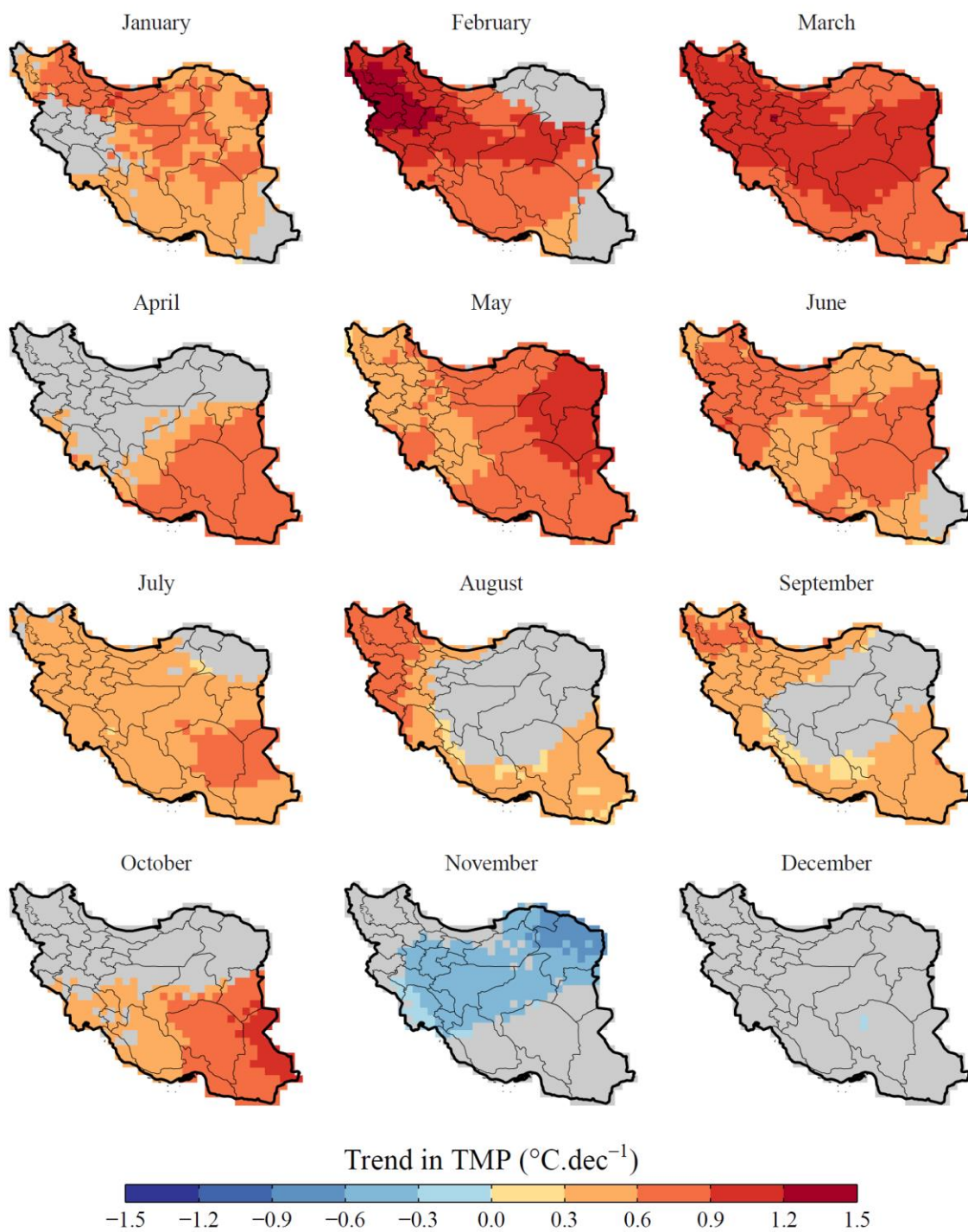
روند معنی‌دار افزایش متوسط روزانه دما در ماه‌های مختلف از قطعی بودن وقوع تغییر اقلیم در سطح کشور طی سی سال گذشته حکایت دارد. این تغییرات به خصوص در ماه‌هایی چون بهمن، اسفند، اردیبهشت، خرداد و تیر در کل سطح کشور قابل مشاهده است. این ماه‌ها اهمیت و تأثیر زیادی برای کشاورزی و منابع آب کشور دارند. روند افزایشی متوسط روزانه دما در این ماه‌ها و از طرف دیگر کاهش بارندگی‌ها در همین دوره، مشکلات کمبود منابع آب برای کشاورزی را تشدید خواهد کرد. با توجه به این تغییرات، مدیریت و سازگاری با این شرایط با هدف حفظ سطح تولیدات کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. راهبردهایی چون تغییر تاریخ کاشت، استفاده از ارقام مقاوم به خشکی، نشاکاری، کشت گلخانه‌ای، استفاده از سیستم‌های آبیاری موضعی به جای سیستم‌های آبیاری سطحی و بارانی در این حوزه قابل بررسی می‌باشند.

یکی از پیامدهای تغییر اقلیم، وقوع پدیده‌های حدی است. گرم‌زدگی، سرمازدگی و یخبندان از جمله وقایع حدی هستند که زندگی بشر و بخش کشاورزی را با چالش مواجه می‌سازند. روند تغییرات دماهای کمینه و بیشینه در مقیاس ماهانه در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. در دی‌ماه (ژانویه) تقریباً روند معنی‌داری در سطح کشور وجود نداشته و فقط بخشی از نوار شمالی کشور شامل استان‌های گیلان، مازندران و بخش‌هایی از استان‌های اردبیل، قزوین و سمنان روند افزایش دمای کمینه (در حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد در دهه) را تجربه کرده است. در بهمن‌ماه (فوریه) بخش

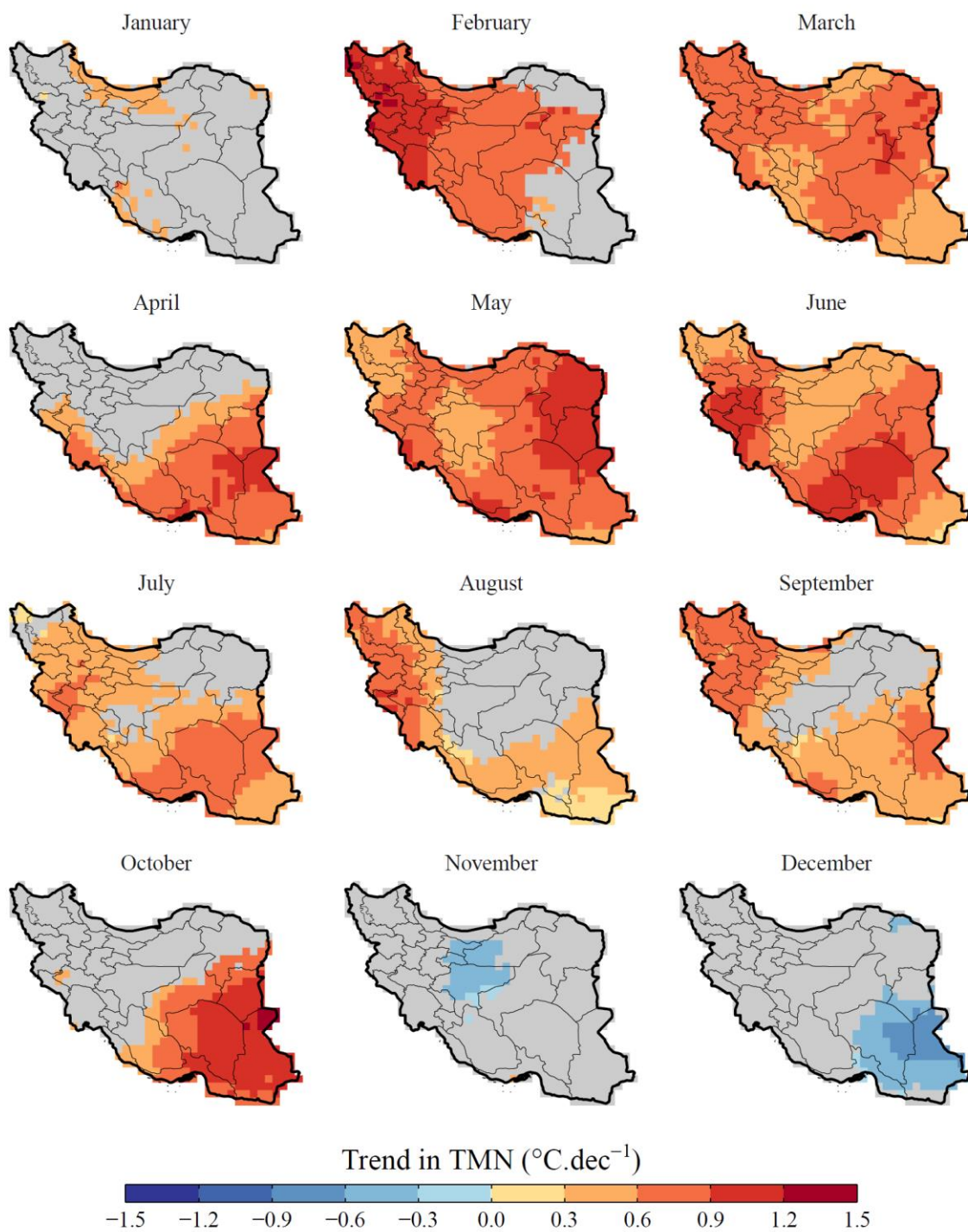
مرکزی و نیمه‌غربی کشور افزایش کمینه روزانه دما را در دوره ۳۰ ساله دوم نشان می‌دهند. این روند افزایشی در استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، زنجان، همدان، لرستان، مرکزی، خوزستان، ایلام، کرمانشاه و قزوین بوده و تا حدود ۱/۲ درجه سانتی‌گراد در دهه برآورد می‌شود. دمای کمینه در ماه‌های اسفند (مارس)، اردیبهشت و خرداد (می و ژوئن) در کل سطح کشور روند افزایشی داشته است. فقط در دو ماه آبان و آذر (نوامبر و دسامبر) در بخش‌هایی از کشور روند کاهش دمای کمینه مشاهده می‌شود. در آبان بخشی از استان‌های مرکزی اصفهان، سمنان، تهران و قم و در آذر بخشی از استان‌های جنوب شرقی شامل استان سیستان و بلوچستان، کرمان، هرمزگان و خراسان جنوبی روند کاهشی در دمای کمینه را داشته‌اند.

روند افزایشی بیشینه روزانه دما در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، اردیبهشت، خرداد و تیر (ژانویه، فوریه، مارس، می، ژوئن، جولای) تقریباً در کل کشور مشاهده می‌شود. این روند در ماه‌های بهمن و اسفند نسبت به سایر ماه‌ها قوی‌تر بوده و در دمای متوسط و کمینه روزانه نیز مشاهده می‌شود. به علاوه در ماه‌های مرداد و شهریور (آگوست و سپتامبر) در استان‌های شمال‌غربی و در ماه‌های فروردین، مرداد، شهریور و مهر (آوریل، آگوست، سپتامبر و اکتبر) استان‌های جنوب شرقی روند افزایشی در بیشینه‌ها دیده می‌شود. تنها در ماه آبان (نوامبر) در سطح وسیعی از کشور روند کاهشی بیشینه روزانه دما تشخیص داده شد. روندی که در متوسط روزانه دما نیز مشاهده می‌شود (شکل ۱۳).

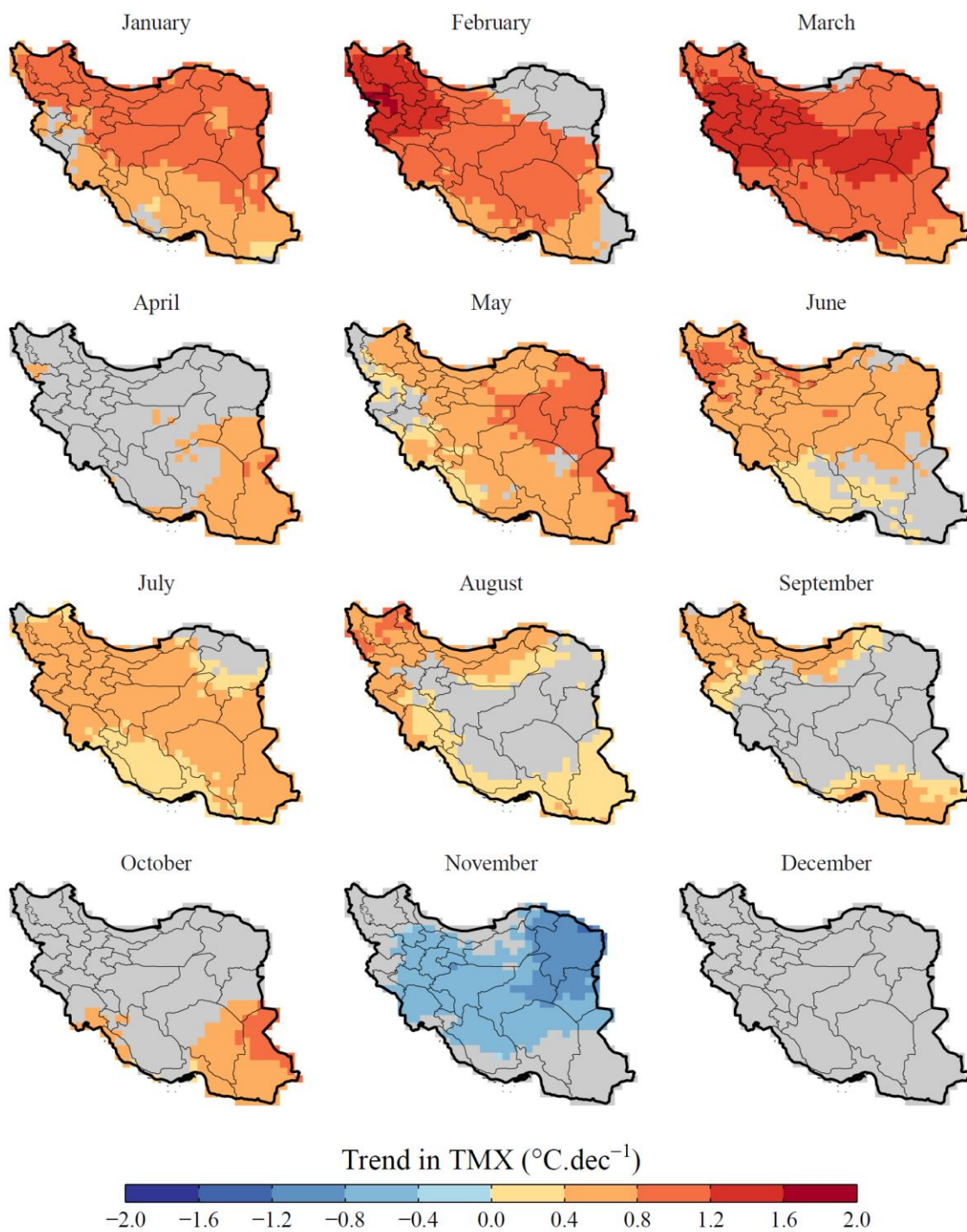




شکل ۱۳. روند تغییرات میانگین‌های ماهانه متوسط روزانه دما (TMP) در دوره ۲۰۱۶-۱۹۸۷. در نقاط خاکستری، روند در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است.



شکل ۱۴. روند تغییرات میانگین‌های ماهانه کمینه روزانه دما (TMN) در دوره ۲۰۱۶-۱۹۸۷. در نقاط خاکستری، روند در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است.



شکل ۱۵. روند تغییرات میانگین‌های ماهانه بیشینه روزانه دما (TMX) در دوره ۲۰۱۶-۱۹۸۷. در نقاط خاکستری، روند در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است.

**بحث و جمع‌بندی**

استفاده از داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی با توجه به گستردگی زمانی و مکانی این داده‌های ابزار مناسبی برای بررسی تغییرات زمانی-مکانی متغیرهای هواشناسی است. نتایج این تحقیق با استفاده از داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی CRU TS نشان می‌دهند:

۱. در سی سال اخیر، میانگین‌های سالانه متوسط، کمینه و بیشینه دما در سطح کشور به ترتیب حدود ۰/۳۹، ۰/۴۱ و ۰/۳۸ درجه سانتی‌گراد در هر دهه افزایش یافته‌اند (به ترتیب ۱/۱۷، ۱/۲۳ و ۱/۱۴ درجه سانتی‌گراد در سی سال) که بیش‌تر از متوسط افزایش دمای جهانی و نیز بیش‌تر از افزایش دما در همسایه شمال‌غربی کشور (ترکیه) می‌باشد. این روند افزایش شاخص‌های مختلف دمایی در مقیاس سالانه در سطح کشور تبعات زیادی را بر بخش‌های مختلف کشور داشته و خواهد داشت. این شرایط باعث افزایش تبخیر از سطح منابع آبی، افزایش تبخیر و تعرق و نیاز آبی در بخش کشاورزی، افزایش تنش‌های گرمایی بر محصولات زراعی و باغی، کاهش فصل یخبندان و خواب زمستانی گیاهان پاییزه خواهد شد.

۲. روند افزایش میانگین سی ساله سالانه متوسط، کمینه و بیشینه روازنه دما نیز به ترتیب مربوط به فصول زمستان، بهار و تابستان است. این روند افزایشی در کل سطح کشور و به خصوص در استان‌های غربی و شمال-غربی مشهود است. در فصل پاییز روند خاصی در شاخص‌های دمایی مورد مطالعه تشخیص داده نشد. روند

افزایشی در فصول زمستان، بهار و تابستان که می‌توان آن‌ها را مهم‌ترین فصول کشاورزی در سطح کشور دانست باعث اثرات بسیاری بر کشاورزی خواهد شد. کارشناسان و مدیران بخش کشاورزی بایستی کشاورزان را با اثرات این تغییر اقلیم آشنا کرده و راهکارها و مدیریت‌های مناسب برای مقابله با آن را آموزش دهند. تغییر تاریخ کاشت، انتخاب ارقام مناسب، اصلاح برنامه‌ریزی آبیاری (زمان و مقدار آبیاری) و انتخاب سیستم آبیاری مناسب از جمله این مدیریت‌ها است.

۳. در مقیاس ماهانه هم بالاترین روند افزایش دما در ماه‌های بهمن، اسفند، اردیبهشت، خرداد و تیر بود. در ماه‌های آبان و آذر هم یا روند معنی‌دار در سطح کشور وجود نداشته و یا روند کاهشی در بخش‌هایی از کشور مشاهده می‌شود. علاوه بر افزایش دما به‌عنوان یکی از جنبه‌های قطعی تغییر اقلیم در سطح کشور، جابه‌جایی فصول نیز اخیراً به‌عنوان یکی از پیامدهای آن مورد توجه قرار گرفته است. روند تغییرات شاخص‌های دمایی در سی سال گذشته در مقیاس ماهانه می‌تواند فرضیه جابه‌جایی فصول در اثر تغییر اقلیم را در سطح کشور قوی‌تر نماید. با توجه به روند افزایشی دما در ماه‌های بهمن و اسفند شروع فصل بهار سریع‌تر رخ خواهد داد. از سوی دیگر افزایش دما در اردیبهشت فرضیه به جلو افتادن فصل تابستان را تقویت می‌نماید. از سوی دیگر نیز روند کاهشی دما در فصول آبان و آذر نیز می‌تواند شروع زود هنگام فصل زمستان را در کشور نشان دهد.

**منابع مورد استفاده**

آبابایی، ب. ۱۳۹۱. توسعه و کاربرد سامانه پشتیبان برنامه‌ریزی برای ارزیابی راهکارهای مدیریت منابع آب و خاک جهت سازگاری با تغییر اقلیم. رساله برای دریافت درجه دکتری. دانشگاه تهران. ۳۲۷ صفحه.

خالقی، س.، بزازان، ف. و مدنی، ش. ۱۳۹۴. اثر تغییر اقلیم بر تولید بخش کشاورزی و بر اقتصاد ایران (رویکرد ماتریس حسابداری اجتماعی). تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۷(۱): ۱۳۵-۱۱۳.

- عینی، م.ر.، جوادی، س. و دلاور، م. ۱۳۹۷. ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل شده پایگاه‌های اقلیمی جهانی CRU و NCEP در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی مدل SWAT، مطالعه موردی: حوضه آبریز مهارلو. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴ (۱): ۳۲-۴۴.
- میری، م.، عزیزی، ق.، خوش اخلاق، ف. و رحیمی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی آماری داده‌های شبکه‌ای بارش و دما با داده‌های مشاهده‌ای در ایران. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۰ (۳۵): ۳۹-۵۰.
- واثقی، ا. و اسماعیلی، ع. ۱۳۸۷. بررسی اثر اقتصادی تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی ایران: روش ایکاردین (مطالعه موردی: گندم). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲ (۴۵): ۶۹۶-۶۸۵.
- Ababaei, B., Sohrabi, T. and Mirzaei, F. 2014. Development and application of a planning support system to assess strategies related to land and water resources for adaptation to climate change. *Climate Risk Management*, 6: 39-50.
- AghaKouchak, A., Nasrollahi, N. and Habibi, E. 2009. Accounting for uncertainties of the TRMM satellite estimates. *Remote sensing*, 1(3): 606-619.
- Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D.B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M. and Vazquez-Aguirre, J.L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 111, D05109.
- Ashouri, H., Nguyen, P., Thorstensen, A., Hsu, K., Sorooshian, S. and Braithwaite, D. 2016. Assessing the Efficacy of High-Resolution Satellite-Based PERSIANN-CDR Precipitation Product in Simulating Streamflow. *Journal of Hydrometeorology*, 17(7): 2061-2076.
- Bronaugh, D., and Werner, A. 2015. Package 'zyp.' R Cran.
- Dee, D., Uppala, S., Simmons, A., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M., Balsamo, G. and Bauer P. 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137: 553-597.
- De Leeuw, J., Methven, J. and Blackburn, M. 2015. Evaluation of ERA-Interim reanalysis precipitation products using England and Wales observations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(688): 798-806.
- Dembele, M. and Zwart, S.J. 2016. Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 37(17): 3995-4014.
- Deschenes, O. and Greenstone, M. 2006. The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Profits and Random Fluctuations of Weather. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.
- Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, C. and Disse, M. 2016. Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Science of the Total Environment*, 573: 1536-1553.
- Ghajarnia, N., Liaghat, A. and Arasteh, P.D. 2015. Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia Basin Iran. *Atmospheric Research*, 158: 50-65.
- Greene, J. and Morrissey, M. 2000. Validation and Uncertainty Analysis of Satellite Rainfall Algorithms. *The Professional Geographer*, 52: 247-258.
- Hadi, S.J. and Tombul, M. 2018. Long- term spatiotemporal trend analysis of precipitation and temperature over Turkey. *Meteorological applications*, 25(3): 445-455.
- Harris, I.C. and Jones, P.D. 2015 CRU TS3.23: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 3.23 of High Resolution Gridded Data of Month-by-month Variation in Climate (Jan. 1901 - Dec. 2014). Centre for Environmental Data Analysis doi:506 10.5285/4c7fdfa6-f176-4c58-acee-683d5e9d2ed5.
- Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J. and Lister, D.H. 2013. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology* 34, 623-642.
- Hong, Y., Hsu, K., Moradkhani, H. and Sorooshian, S. 2006. Uncertainty Quantification of Satellite Precipitation Estimation and Monte Carlo Assessment of the Error Propagation into Hydrologic Response. *Water Resources Research*, 42: W08421.
- Hughes, D.A. 2006. Comparison of satellite rainfall data with observations from gauging station networks. *Journal of Hydrology*, 327: 399-410.
- IPCC, 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Ipcc.

- Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M., BodaghJamali, J. and Kawamoto, H. 2010. Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM\_3B42 over Iran. *Advances in Geosciences*, 25: 119-125.
- Katiraie-Boroujerdy, P.S., Nasrollahi, N., Hsu, K. and Sorooshian, S. 2013. Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. *Journal of arid environments*, 97: 205-219.
- Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods, Science Forum.
- Kidd, C., Dawkins, E. and Huffman, G. 2013. Comparison of precipitation derived from the ECMWF operational forecast model and satellite precipitation datasets. *American Meteorological Society*, 14: 1463-1482.
- Krogh, S.A., Pomeroy, J.W. and McPhee, J. 2015. Physically Based Mountain Hydrological Modeling Using Reanalysis Data in Patagonia. *Journal of Hydrometeorology*, 16(1): 172-193.
- Leichenko, R., Major, C.D., Johnson, K., Patrick, L. and O'Grady, M. 2011. An Economic Analysis of Climate Change Impacts and Adaptations in New York State, ClimAID.
- Li, Z., Yang, D. and Hong, Y. 2013. Multi-scale evaluation of high-resolution multi-sensor blended global precipitation products over the Yangtze River. *Journal of Hydrology*, 500: 157-169.
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*: 245–259.
- Moazami, S., Golian, S., Hong, Y., Sheng, C. and Kavianpour, M.R. 2016. Comprehensive evaluation of four high-resolution satellite precipitation products under diverse climate conditions in Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 61(2): 420-440.
- Molua, E. and Lambi, C. 2007. The Economic Impact of Climate Change on Agriculture in Cameroon. Policy Research Working Paper, 43-64.
- Ouedraogo, M., Some, L. and Dembele, Y. 2006. Economic Impact Assessment of Climate Change on Agriculture in Burkinafaso: A Ricardian Approach. Centre for Environmental Economics and Policy in Africa (CEEPA).
- Raziei, T. and Sotoudeh, F. 2017. Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43(1): 133-147.
- Saboochi, R., Soltani, S. and Khodagholi, M. 2012. Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 109, 529–547.
- Shadmani, M., Marofi, S. and Roknian, M. 2012. Trend Analysis in Reference Evapotranspiration Using Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests in Arid Regions of Iran. *Water Resources Management*, 26: 211–224.
- Shi, H., Li, T. and Jiahua, W. 2017 Evaluation of the Gridded CRU TS Precipitation Dataset with the Point Raingauge Records over the Three-River Headwaters Region. *Journal of Hydrology*, 548: 322-332.
- Simmons, A.J., Jones, P.D., da Costa Bechtold, V., Beljaars, A.C.M., Källberg, P.W., Saarinen, S., Uppala, S.M., Viterbo, P. and Wedi, N. 2004. Comparison of trends and low-frequency variability in CRU, ERA-40, and NCEP/NCAR analyses of surface air temperature. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 109, 1–18.
- Steiner, M., Bell, T., Zhang, Y. and Wood, E. 2003. Comparison of Two Methods for Estimating the Sampling-Related Uncertainty of Satellite Rainfall Averages Based on a Large Radar Dataset. *Journal of Climate*, 16: 3759–3778.
- Su F., Hong Y. and Lettenmaier D.P. 2008. Evaluation of TRMM Multisatellite precipitation analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. *Journal of Hydro meteorological*, 9: 622–640.
- Tan, M. L., Ibrahim, A. L., Duan, ZH, Cracknell, A.P. and Chaplot, V. 2015. Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia. *Remote Sensing*, 7: 1504-1528.
- Thurlow, J., Zhu, T. and Diao, X. 2009. The Impact of Climate Variability and Change on Economic Growth and Poverty in Zambia. International Food Policy Research Institute, IFPRI Discussion Paper 00890: 1-72.
- Tong, K., Su, F., Yang, D. and Hao, Z. 2014. Evaluation of satellite precipitation retrievals and their potential utilities in hydrologic modeling over the Tibetan Plateau. *Journal of Hydrology*, 519: 432-437.
- Worqlul, A.W., Collick, A. S., Tilahun, S. A., Langan, S., Rientjes, T. H. and Steenhuis, T. S. 2015. Comparing TRMM 3B42, CFSR and ground-based rainfall estimates as input for hydrological models, in data scarce regions: the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12(2): 2081–2112.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B. and Cavadias, G. 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes* 16, 1807–1829.
- Zhao, T., and Yatagai, A. 2014. Evaluation of TRMM 3B42 product using a new gauge-based analysis of daily precipitation over China. *International Journal of Climatology*, 34(8): 2749-2762.



ISSN 2251-7480

## Analysis of long-term changes in temperature over iran using the cru ts dataset

Hadi Ramezani Etedali<sup>\*1</sup>, Behnam Ababaei<sup>2</sup>, and Abbas Kaviani<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>) Assistant Professor, Water engineering Dept., Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

\*Corresponding author email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir

<sup>2</sup>Research Officer, The Centre for Crop Science, The University of Queensland, Australia.

<sup>3</sup>) Assistant Professor, Water engineering Dept., Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Received: 11-08-2018

Accepted: 24-11-2018

### Abstract

Study of climate change helps in the management of water resources and agricultural production. Temperature increase is one of the most definite aspects of climate change. Limited number of weather stations and the quality and duration of records of weather variables are among the most important limiting factors in climate change studies. Application of gridded regional/global datasets is a promising option to overcome these limitations. In this study, temporal trends in annual, seasonal and monthly averages of daily minimum, mean and maximum temperatures were analysed using the data obtained from the CRU TS 4.01 gridded dataset and the Mann-Kendall (MK) test. The results show that over 1987-2016 (second period), long-term national annual average of daily mean temperature has increased by 0.4-1.2 °C across the country as compared to 1957-1986 (first period). Over the last here decades, temporal trend in annual average daily mean temperature was estimated at 0.39 °C.dec<sup>-1</sup> (1.17 °C increase in 30 years). The observed increase in daily minimum temperature (1.23 °C in 30 years) over the second period was larger than the increase observed in daily mean temperature. Analysis of temporal trends in seasonal averages reveals that winter and spring, especially in the west and northwest, experienced the strongest positive trends over the last three decades. The results of this study confirm the occurrence of significant temperature changes in winter, spring and summer, which are important to the country's agriculture sector.

**Keywords:** Annual and seasonal average, Climate change, Mann-Kendal test, Maximum temperature, Minimum temperature