

تحلیل تغییرات مکانی-زمانی بارندگی در سطح کشور در دوره ۱۹۵۷-۲۰۱۶ با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده CRU

هادی رضانی اعتدالی^{۱*}، بهنام آبابایی^۲

۱- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۲- پژوهشگر مرکز علوم گیاهی دانشگاه کوئینزلند، استرالیا

*Ramezani@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۶

چکیده

بارندگی کمیت و کیفیت منابع آب و تولیدات محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، پس برآورد و بررسی تغییرات مکانی-زمانی آن حائز اهمیت است. در بسیاری از مناطق کشور به دلیل تراکم کم ایستگاه‌های اندازه‌گیری و یا دوره آماری کوتاه ایستگاه‌های جدید، اطلاعات زمانی و مکانی محدودی در دسترس است. از سوی دیگر، وابستگی تولید محصولات دیم به بارندگی بر اهمیت تحلیل تغییرات مکانی-زمانی این متغیر اقلیمی می‌افزاید. یکی از راه‌های رفع این محدودیت، استفاده از پایگاه‌های اطلاعاتی شبکه‌بندی‌شده جهانی یا منطقه‌ای است. در این پژوهش از داده‌های ماهانه بارندگی پایگاه اطلاعاتی CRU در سطح ایران برای بررسی روند تغییرات سالانه، فصلی و ماهانه شده است. ارزیابی داده‌های پایگاه اطلاعاتی CRU در ۱۴ ایستگاه منتخب در سطح کشور در مقیاس ماهانه حاکی از دقت مطلوب این داده‌ها برای تحلیل روند بارندگی در سطح کشور می‌باشد (RMSE و R^2 برابر با ۱۰/۷۱ میلی‌متر و ۰/۸۴). به جز در ۶ سلول شبکه در نوار شمالی کشور. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بارندگی سالانه در سی سال اخیر (۱۹۸۷-۲۰۱۶) در ۹۳٪ از سطح کشور و به میزان متوسط ۱۵/۷۸ میلی‌متر در دهه کاهش داشته است. این در حالی است که طی سی سال پیش از آن (۱۹۵۷-۱۹۸۶)، روند افزایشی در ۸۰٪ از سطح کشور و به میزان متوسط ۱۳/۵ میلی‌متر در دهه مشاهده می‌شود. سه منطقه مهم شامل (۱) استان‌های غرب و شمال‌غرب کشور، (۲) استان‌های جنوبی و جنوب شرقی و (۳) استان‌های شمال شرقی کشور بیشترین کاهش بارندگی سالانه را در سی ساله دوم داشته‌اند. کاهش بارندگی سالانه در این دوره بیشتر مربوط به کاهش بارندگی در فصل زمستان بوده که حدود ۹۶٪ از کل سطح کشور را در برمی‌گیرد.

واژگان کلیدی: آزمون من-کندال، تحلیل روند، تغییر اقلیم، داده‌های هواشناسی ماهانه، میانابایی.

کاهش بارندگی یکی از جنبه‌های قطعی تغییر اقلیم در منطقه
خاورمیانه و کشور ایران است [2,19]. بارندگی به دلیل تغییرات

۱- مقدمه

اقلیمی کم را قابل قبول دانستند. (Miri et al. (2017) به ارزیابی داده‌های بارش ماهانه پایگاه اطلاعاتی GPCC و داده‌های بارش، دمای کمینه، بیشینه و میانگین پایگاه اطلاعاتی CRU در مقابل ۸۸ ایستگاه‌های هواشناسی کشور پرداختند. نتایج نشان داد داده‌های بارش GPCC و داده‌های دمایی CRU در کشور دقت بالاتری دارند. (Eini et al. (2018) از داده‌های دما و بارش پایگاه-های 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. (Shi et al. (2017) از مقادیر بارندگی شبکه‌بندی بارندگی CRU برای منطقه‌ای که سرچشمه سه رودخانه در چین بود استفاده و با داده‌های بارندگی که از ایستگاه‌های زمینی اندازه‌گیری شده بود مقایسه کردند. نتایج نشان داد انحراف معیار بارش داده‌های پایگاه اطلاعاتی CRU دقت بیشتری نسبت به مقدار مطلق بارندگی دارند که امکان استفاده از داده‌های این پایگاه اطلاعات برای تحلیل روند را تأیید می‌کند. بررسی مطالعات قبلی نشان می‌دهد بیشتر پژوهش‌های صورت گرفته به ارزیابی دقت داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی CRU و یا استفاده از این داده‌ها در شبیه‌سازی رواناب‌ها و سیلاب‌ها در مناطق مختلف پرداخته‌اند. مطالعات اندکی در خصوص استفاده از پایگاه‌های اطلاعاتی برای بررسی روند تغییرات و آشکارسازی تغییر اقلیم در مناطق مختلف به خصوص با پایگاه اطلاعاتی CRU در کشور صورت گرفته است. با توجه به گزارش‌هایی که در خصوص دقت بالای پایگاه اطلاعاتی CRU در تحلیل روند وجود دارد [16,40] هدف اصلی این پژوهش، بررسی روند تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه بارندگی در سطح ایران با استفاده از داده‌های پایگاه CRU برای ارزیابی تغییرات اقلیمی است.

۲- مواد و روش‌ها

مکانی و زمانی، از اهمیت زیادی در مطالعات منابع آب، کشاورزی و هیدرولوژی برخوردار است [4,6,25,38]. داشتن اطلاعات بارندگی با گستردگی مکانی و زمانی بالا در بررسی تغییرات اقلیمی و مطالعات منابع آب از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است. در بسیاری از مناطق ایران اطلاعات ایستگاه-های زمینی وجود نداشته یا دوره تاریخی آن محدود بوده و بررسی روند تغییرات بارندگی برای بررسی تغییر اقلیم در مناطق مختلف را دشوار می‌سازد. تکنیک‌های ماهواره‌ای و سنجش از دور، در کنار مدل‌های گردش عمومی جو (GCM^۱) قابلیت تهیه اطلاعات اقلیمی به ویژه بارش را برای گستره‌های زمانی و مکانی مختلف ایجاد نموده‌اند. این اطلاعات به صورت شبکه‌بندی‌شده در قالب پایگاه‌های اطلاعاتی مختلف مانند NCEP CFSR^۲، CRU^۳، GPCC^۴، PERSIANN^۵، SAFRAN^۶ و ECMWF^۶ ارائه می‌شوند [1,14,18,41]. پایگاه‌های اطلاعات بارندگی یا از طریق روش‌های سنجش از دور بارندگی را برآورد کرده و یا از ترکیب یک مدل گردش عمومی جو (GCM) با یک مدل سطح زمین (LSM^۷) و با واسنجی با داده-های زمینی، مقادیر دقیق‌تری را برای بارندگی برآورد می‌نمایند. مقالات متعددی در سطح ملی و بین‌المللی به پایگاه‌های اطلاعاتی بارندگی نوع اول (حاصل از سنجش از دور) [3,10,11,13,20,21,24,26,29,42,44,46] و پایگاه‌های اطلاعاتی بارندگی نوع دوم (حاصل از ترکیب یک مدل گردشی عمومی جو با یک مدل سطح زمین و با واسنجی با داده‌های زمینی) [5,8,9,23,24,30,36] پرداخته‌اند.

اما دسته سوم پایگاه‌های اطلاعاتی تنها با استفاده از ایستگاه-های زمینی و داده‌های تاریخی اقلیمی، اقدام به درون‌یابی و برآورد متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی می‌کنند. یکی از شناخته‌شده‌ترین این نوع پایگاه‌های اطلاعاتی، CRU است که در سطح جهانی شناخته شده است [16,17,31,43,47]. (Hajihosseini et al. (2014) دقت داده‌های بارندگی پایگاه اطلاعاتی CRU برای مطالعات هیدرولوژیکی مناطق با داده‌های

5 Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Adaptés à la Nivologie
6 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Level Surface Model
7 Level Surface Model

1 Global Circulation Model
2 Climate Forecast System Reanalysis of the National Center for Environmental Prediction
3 Climatic Research Unit
4 Global Precipitation Climatology Centre

سری زمانی اصلاح شده حذف می‌شود. روند و باقیمانده‌ها با هم ترکیب شده و آزمون من-کندال برای بررسی سطح معنی-داری روند در سری زمانی نهایی استفاده می‌شود. آمار آزمون من-کندال به شرح رابطه (۱) محاسبه می‌شود که در آن X_j مقادیر متوالی داده‌ها، n طول نمونه داده‌ها و sgn تابع علامت است ($+1$ برای اعداد مثبت، -1 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 که در آن t_m تعداد گره‌های با طول m است. آمار Z استاندارد این آزمون از رابطه (۳) محاسبه می‌شود. این آمار از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس واحد پیروی می‌کند. شیب روند نیز از رابطه (۴) محاسبه می‌شود 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 داده‌های سری زمانی برآورد می‌کند و از سال ۱۹۸۲ بعنوان روشی شناخته‌شده برای تحلیل روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیک بکار گرفته می‌شود [47]. به منظور حذف تأثیر خودهمبستگی مرتبه یک، ابتدا ضریب خودهمبستگی (r_1) مرتبه یک از رابطه (۵) (با فرض k برابر ۱) محاسبه می‌شود و سپس، روند سری زمانی با استفاده از رابطه (۷) حذف می‌شود که در آن b شیب روند و X_t مقدار سری زمانی در زمان t است. سپس، با استفاده از مقدار ضریب خودهمبستگی مرتبه ۱ محاسبه شده، تأثیر خودهمبستگی مرتبه ۱ از سری حاصل از اعمال این رابطه حذف می‌شود (رابطه ۸).

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

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

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

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

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

۲-۱- داده‌های شبکه‌بندی شده پایگاه اطلاعاتی CRU

مدل CRU یک مدل شبیه‌سازی دینامیکی بوده و از داده‌های هواشناسی زمینی ثبت شده در سطح جهان بهره می‌برد. تعداد ایستگاه‌های استفاده برای سال‌های ابتدایی این داده‌ها یعنی سال ۱۹۰۱، ۴۹۵۷ ایستگاه و در سال ۱۹۸۱ به ۱۴۵۷۲ ایستگاه افزایش یافته است. این پایگاه داده 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 0.5×0.5 درجه جغرافیایی و شامل ۱۰ متغیر هواشناسی یعنی میانگین دمای روزانه، میانگین ماهانه دماهای بیشینه و کمینه، دامنه تغییرات دمای روزانه، کل بارندگی، فشار بخار آب، پوشش ابر، تعداد روزهای مرطوب، تعداد روزهای یخبندان و تبخیر و تعرق پتانسیل است [12,16]. پایگاه اطلاعاتی CRU نسخه ۴/۰۱ در دوره ۲۰۱۶-۱۹۰۱ در این مطالعه استفاده شد. برای ارزیابی روندهای ماهانه، فصلی و سالانه، داده‌های بارندگی برای ۶۷۵ سلول روی شبکه برای کل سطح کشور استخراج شد.

۲-۲- بررسی روند

برای بررسی روند از شکل اصلاح شده آزمون من-کندال [22,27] استفاده شد که بر پایه تعیین مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. محاسبات آزمون استاندارد من-کندال در منابع مختلف تشریح شده است [39]. در این پژوهش روند زمانی تغییرات بارندگی با روش Yue et al. (2002) تحلیل شد [45]. ایشان برای حذف تأخیر خودهمبستگی مثبت در سری زمانی داده‌ها که باعث برآورد غیردقیق روند زمانی می‌شود، روش TFPW³ را پیشنهاد کرده‌اند. در این روش شیب سری زمانی با استفاده از روش Theil-Sen برآورد می‌شوند. 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 از سری زمانی کاسته و سری زمانی اصلاح می‌شود. در ادامه خودهمبستگی زمانی مرتبه ۱ محاسبه شده و از

نزدیک‌ترین فاصله اقلیدسی از ایستگاه مورد نظر قرار دارند) انتخاب و براساس مقادیر شاخص‌های RMSE و R^2 ، بهترین مقدار K برای هر ایستگاه تعیین شد.

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

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

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

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی داده‌های بارش پایگاه اطلاعاتی CRU

از نظر مقدار بارندگی به جز ایستگاه بندرانزلی، دقت در بقیه ایستگاه مطلوب ارزیابی می‌شود. در سطح تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز ایستگاه بندرانزلی، مقدار RMSE در حدود ۱۰/۷۱ میلی‌متر برآورد گردید. دقت مطلوب داده‌های بارندگی پایگاه اطلاعاتی CRU به جز در نوار شمالی کشور در مطالعه Miri et al. (2017) نیز تأیید شده است. با توجه به این‌که هدف این مطالعه استفاده از مقادیر بارندگی این پایگاه اطلاعاتی در تحلیل روندهای بارندگی است روند تغییرات بارندگی در دو دوره پیش و پس از سال ۱۹۸۷ ارزیابی شد. ارزیابی شاخص‌های آماری مربوط به روند تغییرات بارندگی پایگاه اطلاعاتی CRU در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد در طول دوره آماری پس از سال ۱۹۸۷ (RMSE 2.72 mm/decade)، نسبت به دوره آماری پیش از سال ۱۹۸۷ (mm/decade) ۱۹۸۷ (RMSE=3.23)، دقت این داده‌ها در سطح ایستگاه‌های منتخب افزایش یافته است. دقت بیشتر داده‌های پایگاه اطلاعاتی CRU در سی سال اخیر، به دلیل افزایش تعداد ایستگاه‌های هواشناسی و کیفیت بیشتر داده‌هاست. لازم به یادآوری است که داده‌های شبکه‌بندی شده این پایگاه اطلاعاتی از داده‌های ایستگاه‌های زمینی استخراج شده است [13]. نتایج ارزیابی مقادیر و روندهای بارندگی از دقت مناسب داده‌های پایگاه اطلاعاتی CRU به جز در نوار شمالی کشور (۶ سلول از ۶۷۵ سلول مطالعه شده در این پژوهش) حکایت دارد.

۳-۲- بارندگی سالانه

به منظور بررسی تغییرات محتمل اقلیم، متوسط بارندگی سالانه در دو دوره سی ساله ۱۹۵۷-۱۹۸۶ (دوره اول) و ۱۹۸۷-۲۰۱۶ (دوره دوم) در سطح کشور با هم مقایسه شدند (شکل ۲). بارندگی در دوره دوم در سه ناحیه نسبت به دوره اول کاهش داشته است. ناحیه اول در غرب و شمال‌غرب ایران مشاهده

از بسته zyp در زبان برنامه‌نویسی R [7] برای تحلیل روندها استفاده شد. در این پژوهش معنی‌داری در سطح ۹۰ درصد برای بررسی تغییرات و روند میانگین بارندگی‌ها استفاده شده است. همچنین برای ارزیابی مقادیر بارندگی و روند تغییرات بارندگی پایگاه اطلاعاتی CRU نسبت به ایستگاه‌های منتخب، از شاخص‌های RMSE، R^2 ، Accuracy و Bias استفاده شد (روابط ۹ تا ۱۲). در این روابط R_{obs} مقادیر مشاهداتی، R_{sat} مقادیر شبیه‌سازی، n تعداد داده‌ها، \bar{R}_{obs} میانگین مقادیر مشاهداتی، \bar{R}_{sat} میانگین مقادیر شبیه‌سازی توسط پایگاه داده موردنظر هست. CPA تعداد روندهای معنی‌دار ($P < 0.1$) در مقادیر مشاهداتی که در مقادیر CRU نیز معنی‌دار تشخیص داده شده‌اند، CNA تعداد روندهای غیرمعنی‌دار در مقادیر مشاهداتی که در مقادیر CRU نیز غیرمعنی‌دار تشخیص داده شده‌اند، FA تعداد روندهای غیرمعنی‌دار در مقادیر مشاهداتی که در مقادیر CRU معنی‌دار تشخیص داده شده‌اند، و MA تعداد روندهای معنی‌دار در مقادیر مشاهداتی که در مقادیر CRU غیرمعنی‌دار تشخیص داده شده‌اند.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{obs} - \bar{R}_{obs})(R_{sat} - \bar{R}_{sat})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{obs} - \bar{R}_{obs})^2 \sum_{i=1}^n (R_{sat} - \bar{R}_{sat})^2}} \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{obs} - \bar{R}_{obs})^2} \quad (10)$$

$$Accuracy = \frac{CPA + CNA}{CPA + CNA + FA + MA} \quad (11)$$

$$Bias = \frac{CPA + FA}{CPA + MA} \quad (12)$$

دقت داده‌های بارندگی CRU در دوره ۱۹۵۱-۲۰۱۶ در ۱۴ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در مناطق مختلف کشور که قدمت بیشتری داشتند بررسی گردید (شکل ۱). ایستگاه‌ها به شکلی انتخاب شدند که پراکندگی مناسبی در سطح کشور داشته باشند و اقلیم‌های متنوعی را نمایندگی کنند. داده‌های ماهانه CRU به روش وزندهی معکوس فاصله (IDW) در هریک از ایستگاه‌های منتخب میان‌یابی شدند. برای میان‌یابی، مقادیر متفاوت K (تعداد سلول‌های پایگاه اطلاعاتی CRU که در

تخمین زده شد. در دوره اول، استان‌های فارس، یزد، اصفهان، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان، سمنان، قم، تهران، کردستان و بخش‌هایی از استان‌های کرمان، خراسان رضوی، قزوین، مازندران، گیلان، زنجان و آذربایجان غربی از روند افزایشی برخوردار بوده‌اند. روند کاهشی بارندگی در دوره دوم در استان‌های هرمزگان، بوشهر، خوزستان، فارس، ایلام، لرستان، خراسان جنوبی، کرمان، یزد، سمنان، اصفهان، سیستان و بلوچستان، کرمانشاه مشاهده می‌شود. اختلاف روندها در دو دوره سی ساله نشان می‌دهد بخش اعظم استان‌های کشور در دوره دوم نسبت به دوره اول روند کاهشی بارندگی سالانه را تجربه کرده‌اند.

۳-۳- بارندگی فصلی

در تابستان و پاییز اختلاف معنی‌داری در میانگین بارندگی در دو دوره اول و دوم در کشور مشاهده نمی‌شود (شکل ۵). اما در فصول زمستان و بهار که شاهد بیشترین بارندگی هستند، در بخش‌هایی از کشور در دوره دوم نسبت به دوره اول، میانگین بارندگی فصلی کاهش معنی‌دار داشته است. در زمستان و بهار سه ناحیه در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش بارندگی را تجربه کرده‌اند که این سه ناحیه در شکل (۲) نیز که مربوط به میانگین سالانه بارندگی است قابل تشخیص هستند. کاهش میانگین سالانه بارندگی در این سه ناحیه مربوط به کاهش بارندگی در فصول زمستان و بهار در طول سی سال گذشته است. کاهش بارندگی در زمستان و بهار آثار زیانباری بر منابع آب و کشاورزی این نواحی (که از نواحی بسیار مهم در بخش کشاورزی محسوب می‌شوند) داشته است. این کاهش به ویژه در نواحی غرب و شمال‌غرب ایران که کشاورزی دیم غلات مانند گندم و جو و حبوبات مانند نخود و عدس و باغات دیم درصد قابل توجهی از سطح زیرکشت را به خود اختصاص داده‌اند اهمیت مضاعف دارد. بنابراین آگاه‌سازی کشاورزان از این تغییرات و اتخاذ سیاست‌های سازگاری توصیه می‌شود.

می‌شود. استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، کردستان، کرمانشاه، ایلام، لرستان، زنجان، همدان و بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان غربی، استان مرکزی و گیلان در این ناحیه واقع شده‌اند. کاهش بارندگی در این ناحیه نسبت به دو ناحیه دیگر شدیدتر بوده است. این ناحیه نقش مهمی در تولید محصولات دیم دارد. کاهش بارندگی در این ناحیه شاید به دلیل بالاتر بودن میزان بارندگی نسبت به میانگین کشور کمتر مورد توجه قرار گرفته باشد. ناحیه دوم در جنوب شرقی ایران شامل استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و بخش جنوبی استان خراسان جنوبی شناسایی شد که از جمله مناطق خشک کشور محسوب می‌شوند. در این ناحیه بارندگی در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش داشته است. با توجه به شرایط طبیعی و بارندگی کم این ناحیه، کاهش بارندگی در دوره دوم، منابع آبی، کشاورزی و رفاه اجتماعی را به شدت تحت تاثیر قرار داده است. ناحیه سوم در شمال‌شرقی ایران و شامل استان خراسان شمالی و شمال استان خراسان رضوی و شرق استان گلستان است. وسعت این ناحیه نسبت به دو ناحیه دیگر کمتر است، اما با توجه اهمیت کشاورزی در این ناحیه نمی‌توان از آثار منفی این کاهش چشم‌پوشی کرد. در بخش‌های دیگر کشور اختلاف معنی‌داری در میزان بارندگی سالانه بین دوره اول و دوم مشاهده نمی‌شود. تقریباً در هیچ نقطه‌ای از ایران میانگین بارندگی سالانه در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش نداشته است (شکل ۲).

در شکل (۳) روند تغییرات بارندگی در دو دوره سی ساله با هم مقایسه شده‌اند. در دوره دوم بیشتر سطح کشور در بارندگی سالانه یا شاهد روند کاهشی معنی‌دار (۴۲/۵ درصد) و یا غیرمعنی‌دار (۵۰/۴ درصد) بوده است (شکل ۴). روند کاهشی در میانگین سالانه کل کشور در دوره سی ساله اخیر، ۱۵/۷۸ میلی‌متر در دهه برآورد شد. در دوره سی ساله ۱۹۵۷-۱۹۸۶ در بیش از ۸۱ درصد سطح کشور روند افزایشی معنی‌دار (۳۵/۹ درصد) و غیرمعنی‌دار (۴۵/۳ درصد) مشاهده می‌شود. میانگین روند افزایشی در این دوره ۱۳/۵ میلی‌متر در دهه

شکل ۱- موقعیت ۱۴ ایستگاه منتخب در سطح کشور (بالا-چپ)، ارزیابی روندهای ماهانه محاسبه شده با داده‌های CRU (بالا-راست؛ یک نقطه برای هر ماه از سال در ۱۴ ایستگاه منتخب)، و مقایسه بارندگی‌های ماهانه CRU و مشاهداتی در ۱۴ ایستگاه منتخب (پایین). شاخص‌های Accuracy (Acc) و Bias با استفاده از روابط ۱۱-۱۲ بطور جداگانه برای روندهای نزولی (Decr) و صعودی (Incr) محاسبه شده‌اند.

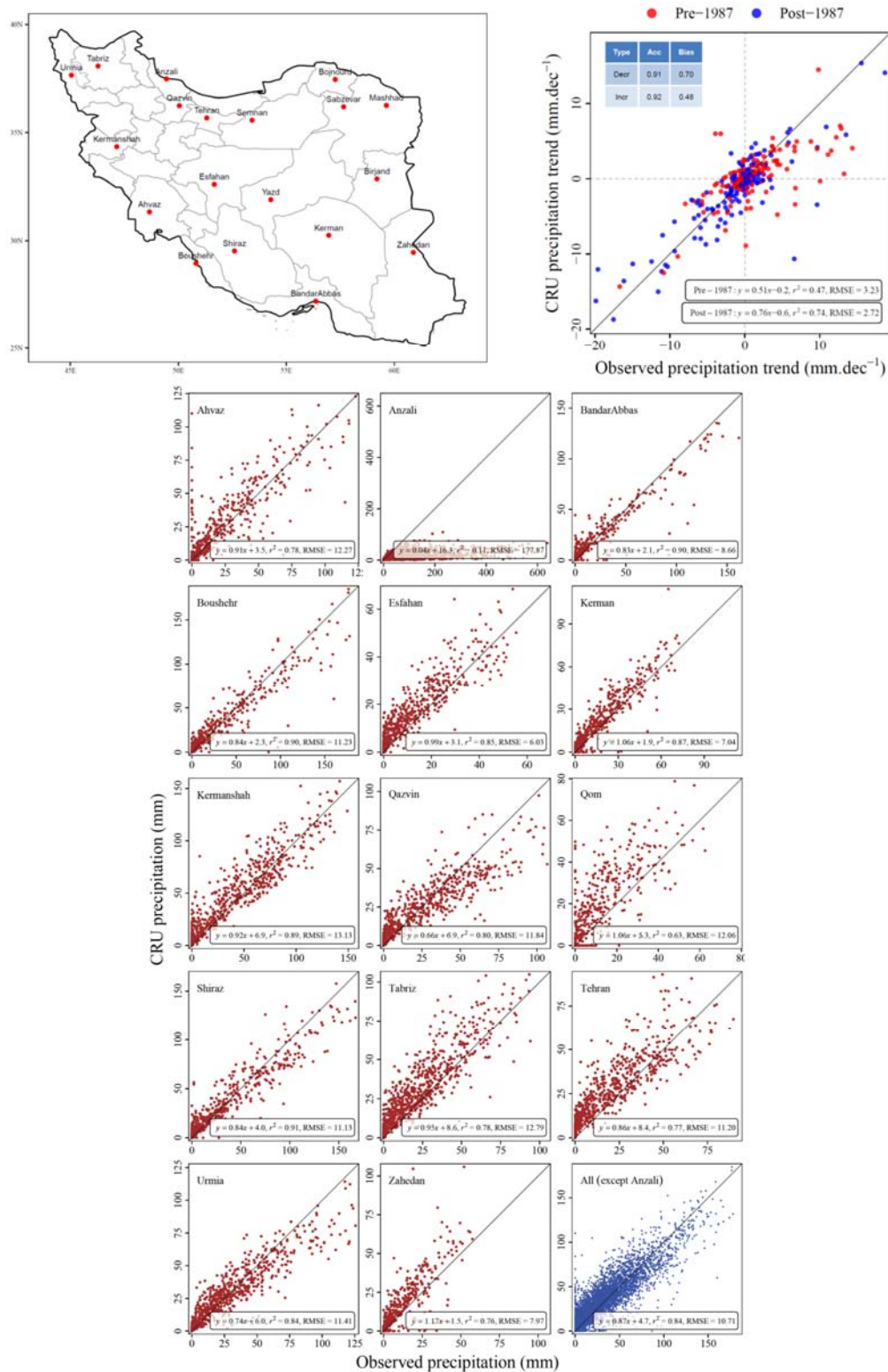


Fig. 1. Location of 14 selected stations (top-left), evaluation of monthly trends calculated with the CRU dataset (top-right); and comparison of CRU and observed monthly precipitation at selected stations (bottom). Accuracy (Acc) and Bias are calculated by Eq. 11-12 for decreasing (Decr) and increasing (Incr) trends separately

شکل ۲. میانگین بارندگی سالانه 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).

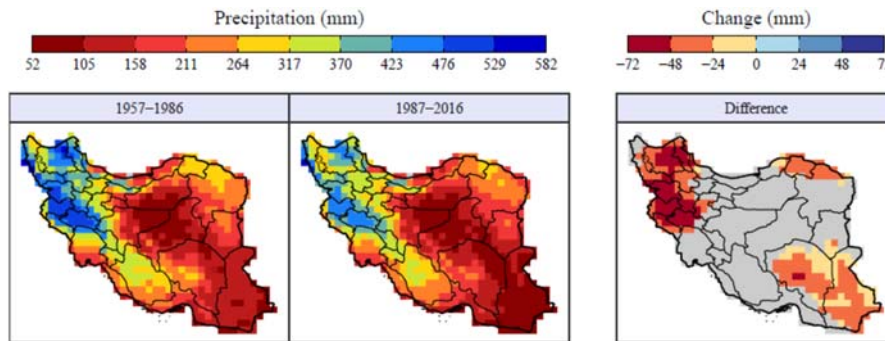


Fig. 2. Mean annual precipitation over 1957-1986 and 1987-2016. Right panel shows the subtraction of the mean annual precipitation over the first period from the second period. Grid cells shown in grey have insignificant differences ($P>0.1$), determined with the t-test.

شکل ۳. روند تغییرات بارندگی سالانه در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۱۹۸۷-۲۰۱۶. روند در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است. تصویر سمت راست (اختلاف روندها) از تفاضل شیب روند در دوره اول از شیب روند در دوره دوم (سی سال اخیر) به دست آمده است.

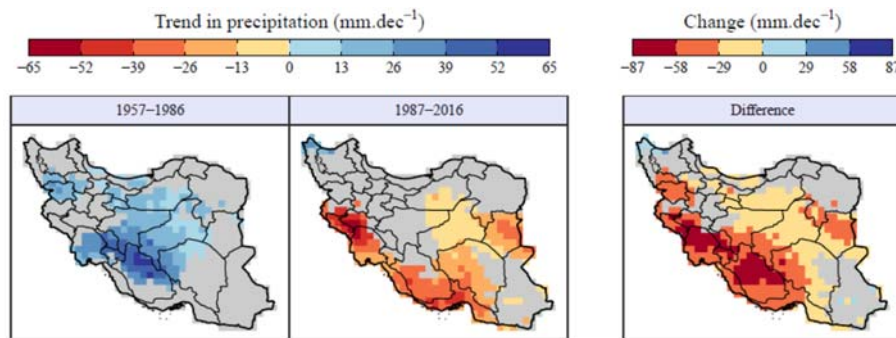


Fig. 3. Temporal trends in annual precipitation over 1957-1986 and 1987-2016. Grid cells shown in grey experienced insignificant trends ($P>0.1$). Right panel shows the subtraction of the trends over the first period from the second period.

شکل ۴. درصد از سطح ایران با روندهای مختلف بارندگی سالانه، فصلی و ماهانه در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۱۹۸۷-۲۰۱۶ (Significant): روند معنی‌دار، Insignificant: روند غیرمعنی‌دار، Decrease: روند کاهشی، Increase: روند افزایشی).

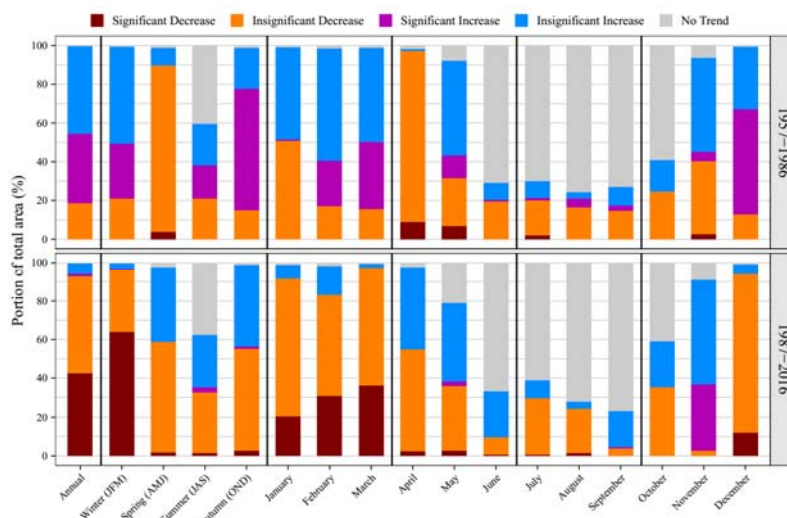


Fig. 4. Portion of Iran with annual, seasonal and monthly trends over two periods of 1957-1986 and 1987-2016.

خراسان شمالی، گلستان و بخش‌هایی از استان‌های کرمان، خراسان رضوی، اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی شاهد روند افزایش بوده‌اند (۸۴ درصد از کل سطح کشور روند افزایشی بارندگی معنی‌دار و غیرمعنی‌دار بوده است)، ولی در دوره دوم تقریباً هیچ روند کاهشی یا افزایشی معنی‌داری در بارندگی پاییز مشاهده نشده و به ترتیب ۵۲/۴ و ۴۲/۲ درصد از سطح کشور روند غیرمعنی‌دار کاهشی و افزایشی داشته است (شکل ۴).

۴-۳- بارندگی ماهانه

برای حفظ اختصار، از ارائه نقشه‌های مربوط به متوسط و روند بارندگی‌ها در دوره سی ساله ۱۹۵۷-۱۹۸۶ چشمپوشی شد. فصل بارندگی در سطح کشور از آبان تا اردیبهشت (نوامبر تا آوریل) ادامه دارد (شکل ۷). اسفندماه (مارس) به طور متوسط بیشترین بارندگی ماهانه را داشته است. استان‌های غربی شامل کردستان، کرمانشاه، همدان، لرستان و نیمه جنوبی استان آذربایجان غربی بیشترین بارندگی را در این ماه دریافت کرده‌اند.

شکل (۸) روند تغییرات بارندگی ماهانه در سی سال اخیر را نشان می‌دهد. در این دوره، از فروردین تا مهر (آوریل تا اکتبر) در حدود ۹۹ درصد از کل سطح کشور روند معنی‌دار در تغییرات بارندگی مشاهده نمی‌شود (شکل ۴). اما از آذر تا اسفند (دسامبر تا مارس) روند کاهشی معنی‌دار و غیرمعنی‌داری در بیش از ۸۵ درصد از سطح کشور مشاهده می‌شود. تنها در آبان ماه (نوامبر) در استان‌های فارس، بوشهر، یزد، خراسان رضوی و خراسان جنوبی، تهران، قزوین، گیلان روند افزایشی معنی‌دار مشاهده می‌شود. اما این روند افزایشی در میزان بارندگی ماه آبان حداکثر ۱۰ میلی‌متر در هر دهه برآورد شد. روند کاهش بارندگی در ماه‌های دی، بهمن و اسفند (ژانویه، فوریه و مارس) در بخش‌های مختلف ایران وجود دارد. در دی‌ماه روند کاهشی (۱۰ میلی‌متر در هر دهه) در استان‌های خوزستان، لرستان، همدان، قزوین، زنجان، مرکزی، خراسان جنوبی، کرمان و سیستان و بلوچستان مشاهده می‌شود. در بهمن ماه روند کاهشی در استان‌های غربی، جنوب‌غربی و جنوبی ایران (هرمزگان، فارس، بوشهر، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان، ایلام، کرمانشاه، کردستان، همدان و مرکزی) مشاهده می‌شود. بیشترین نرخ کاهش بارندگی در اسفندماه برآورد شد.

بهبود عملیات زراعی مانند شخم، برداشت آب باران، تغییر تاریخ کشت، استفاده از ارقام مقاوم به خشکی و البته آبیاری تکمیلی در اراضی دیم، راهکارهایی است که برای کاهش اثر کمبود بارندگی در فصول زمستان و بهار می‌تواند توسط کشاورزان به کار برده شوند. آبیاری تکمیلی بیشتر برای جبران کمبود بارندگی در خشکسالی‌ها در فصل پاییز (فصل جوانه‌زنی) و بهار (گلدهی و پرشدن دانه‌ها) صورت می‌پذیرد [32]. بنابراین در این مناطق انجام آبیاری تکمیلی در فصل بهار ضروری به نظر می‌رسد.

در شکل (۶) روند بارندگی در فصول مختلف در دو دوره سی ساله با هم مقایسه شده‌اند. در دوره دوم، بارندگی زمستان در بیشتر استان‌های کشور به جز تعداد معدودی از استان‌ها مانند خراسان شمالی، گلستان و بخش‌هایی از سیستان و بلوچستان، کرمان، هرمزگان، خراسان رضوی، اردبیل، سمنان، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی، روند کاهشی داشته است. این کاهشی در غرب و جنوب‌غربی ایران شدیدتر بوده است. در این دوره در فصل زمستان مجموعاً بیش از ۹۶ درصد از کل سطح کشور دارای روند کاهشی معنی‌دار (۶۴/۰ درصد) و غیرمعنی‌دار (۳۲/۳ درصد) بوده‌اند (شکل ۴). بر عکس در دوره اول بارندگی زمستان در بیشتر استان‌های کشور به ویژه در استان‌های مرکزی مانند سمنان، یزد، اصفهان، خراسان رضوی، تهران و کرمان روند افزایش بارندگی معنی‌دار و غیرمعنی‌دار بوده است (مجموعاً حدود ۷۹ درصد از سطح کشور).

در بهار در دوره اول، روند کاهشی معنی‌دار و غیرمعنی‌دار به ترتیب در ۳/۷ و ۸۶/۱ درصد از سطح کشور دیده می‌شود. در دوره دوم نیز روند معنی‌داری در میزان بارندگی بهار مشاهده نمی‌شود. در تابستان در دوره اول، در بخش‌هایی از استان‌های خراسان رضوی، خراسان شمالی، هرمزگان، بوشهر، کرمان، فارس و یزد روند معنی‌دار افزایش بارندگی (۱۷/۳ درصد از کل سطح کشور) مشاهده می‌شود. اما در دوره دوم روند معنی‌دار چشم‌گیری در میزان بارندگی تابستان در سطح کشور مشاهده نمی‌شود (حدود ۹۶٪ از کل سطح کشور بدون روند بوده یا روند افزایشی یا کاهشی غیرمعنی‌دار داشته‌اند). در فصل پاییز و در دوره اول، بیشتر استان‌های کشور به جز استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان،

شکل ۵. میانگین بارندگی‌های فصلی 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).

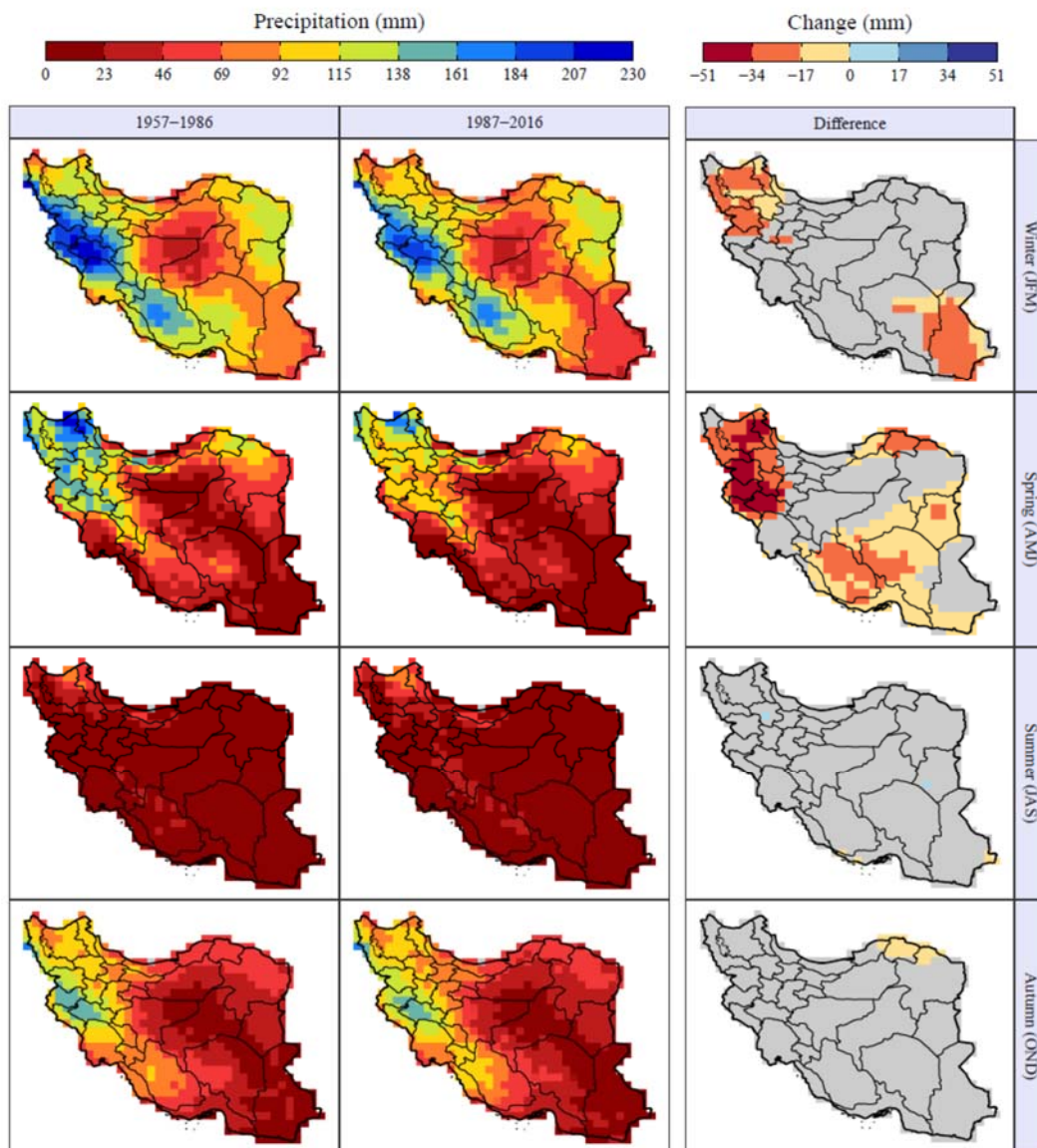


Fig. 5. Mean seasonal precipitations over 1957-1986 and 1987-2016. Right panel shows the subtraction of the mean annual precipitation over the first period from the second period. Grid cells shown in grey have insignificant differences ($P > 0.1$), determined with the t-test.

شکل ۶. روند تغییرات بارندگی های فصلی در دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۱۹۸۷-۲۰۱۶. در نقاط خاکستری، روند در سطح ۹۰٪ معنی دار نبوده است. تصویر سمت راست (اختلاف روندها) از تفاضل شیب روند در دوره اول از شیب روند در دوره دوم (سی سال اخیر) به دست آمده است.

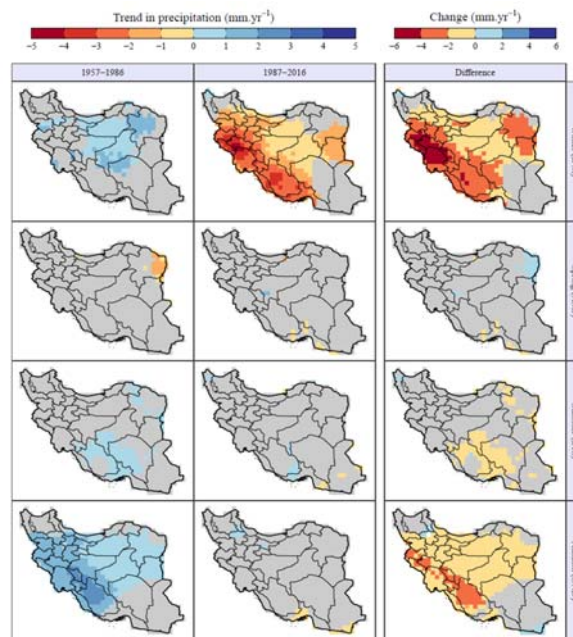


Fig. 6. Temporal trends in seasonal precipitations over 1957-1986 and 1987-2016. Grid cells shown in grey experienced insignificant trends ($P > 0.1$). Right panel shows the subtraction of trends over the first period from the second period.

شکل ۷. میانگین بارندگی ماهانه در دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۶

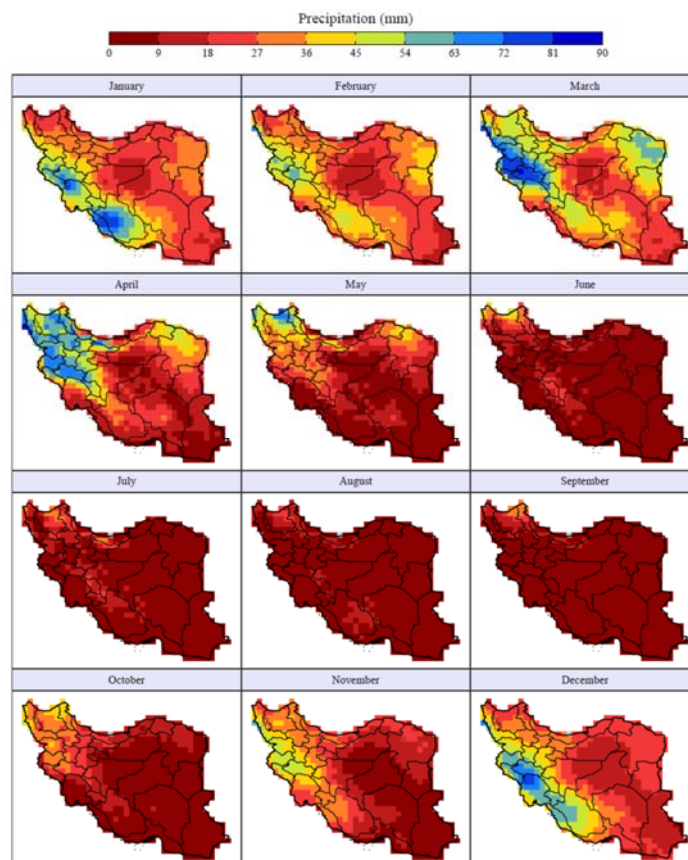


Fig. 7. Mean monthly precipitations over 1987-2016.

۴- نتیجه گیری

در بسیاری از مناطق کشور پراکنش زمانی و مکانی داده‌های اقلیمی مانند بارندگی نامناسب است. استفاده از پایگاه‌های اطلاعاتی جهانی یا منطقه‌ای مانند CRU پس از ارزیابی دقیق می‌تواند یکی از بهترین جایگزین‌ها برای رفع کمبود اطلاعات است. نتایج ارزیابی داده‌های بارندگی این پایگاه اطلاعاتی نشان داد به جز در نوار شمالی کشور در بیشتر مناطق کشور می‌توان به دقت داده‌های CRU اعتماد کرد. در این پژوهش از پراکنش مکانی و زمانی مناسب پایگاه اطلاعاتی CRU برای بررسی روند بارندگی‌های سالانه، فصلی و ماهانه هنگام دو دوره ۱۹۵۷-۱۹۸۶ و ۱۹۸۷-۲۰۱۶ استفاده شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها و روندهای سالانه بارندگی در کشور نشان داد سه ناحیه مهم از نظر کشاورزی بیشترین کاهش بارندگی سالانه را داشته‌اند: (۱) استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، کردستان،

کرمانشاه، ایلام، لرستان، زنجان، همدان و بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان غربی، استان مرکزی و گیلان در غرب و شمال غرب کشور، (۲) استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و بخش جنوبی استان خراسان جنوبی در جنوب شرق کشور، و (۳) استان خراسان شمالی و شمال استان خراسان رضوی و شرق استان گلستان در شمال شرق کشور. همچنین در دوره سی و شش ساله ۱۹۸۷-۲۰۱۶ در بارندگی سالانه در هیچ نقطه‌ای از کشور روند افزایشی معنی‌دار مشاهده نشد. تحلیل بارندگی‌های فصلی نشان داد کاهش بارندگی سالانه بیشتر مربوط به کاهش بارندگی در فصول زمستان و بهار است که نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی و تأمین آب شرب دارند. در مقیاس ماهانه، تنها روند بارندگی در آبان ماه در بخشی از کشور افزایشی بوده است. در بقیه ماه‌ها روند افزایشی چشمگیر و معنی‌دار در سطح کشور مشاهده نمی‌شود.

شکل ۸. روند بارندگی ماهانه در دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۶. در نقاط خاکستری، روند در سطح ۹۰٪ معنی‌دار نبوده است

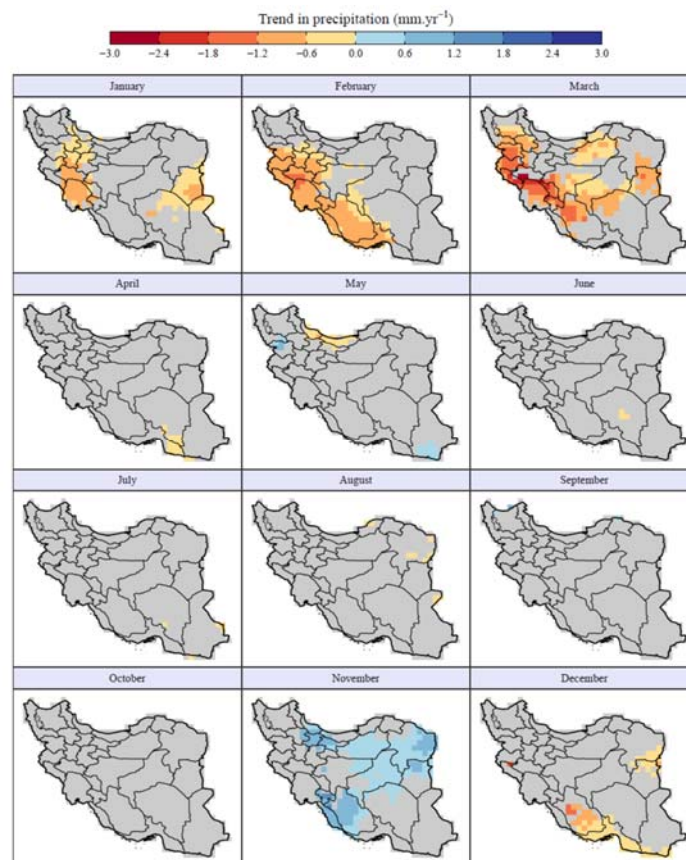


Fig. 8. Temporal trends in monthly precipitations over 1987-2016. Grid cells shown in grey revealed insignificant trends ($P > 0.1$).

۶- منابع

- Journal of the Royal Meteorological Society
137:553-597
- [10] Dembele M, Zwart SJ (2016) Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa. *International Journal of Remote Sensing* 37(17):3995-4014
- [11] Duan Z, Liu J, Tuo Y, Chiogna C, Disse M (2016) Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial. *Science of the Total Environment* 573:1536-1553
- [12] Eini MR, Javadi S, Delavar M (2018) Evaluating the Performance of CRU and NCEP CFSR Global Reanalysis Climate Datasets in Hydrological Simulation by SWAT Model (Case Study: Maharlu Basin). *Iran-Water Resources Research journal* 14(1):32-44 (In Persian)
- [13] Ghajarnia N, Liaghat A, Arasteh PD (2015) Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia Basin Iran. *Atmospheric Research* 158:50-65.
- [14] Greene J, Morrissey M, (2000) Validation and Uncertainty Analysis of Satellite Rainfall Algorithms. *The Professional Geographer* 52:247-258.
- [15] Hajihoseini H, Hajihoseini M, Najafi A, Morid S, Delavar M (2014) Assessment of changes in hydrometeorological variables upstream of Helmand Basin during the last century using CRU data and SWAT model. *Iran- Water Resources Research* 10(3):38-52 (In Persian)
- [16] Harris I, Jones PD, Osborn TJ, Lister DH (2013) Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology* 34:623-642.
- [17] Harris IC, Jones PD (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
- [18] Hong Y, Hsu K, Moradkhani H, 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.
- [19] IPCC (2012) Managing the risks of extreme
- [1] AghaKouchak A, Nasrollahi N, Habibi E (2009) Accounting for uncertainties of the TRMM satellite estimates. *Remote sensing* 1(3):606-619
- [2] Alexander LV, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank AMG, Haylock M, Collins D, Trewin B, Rahimzadeh F, Tagipour A, Rupa Kumar K, Revadekar J, Griffiths G, Vincent L, Stephenson DB, Burn J, Aguilar E, Brunet M, Taylor M, New M, Zhai P, Rusticucci M, Vazquez-Aguirre JL (2006) Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 111, D05109. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
- [3] Ashouri H, Nguyen P, Thorstensen A, Hsu K, Sorooshian S, 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
- [4] Bajracharya SR, Shrestha MS, Shrestha, AB (2014) Assessment of high-resolution satellite rainfall estimation products in a streamflow model for flood prediction in the Baghmati basin, Nepal. *Journal of Flood Risk Management* 10:5-16
- [5] Balsamo G, Albergel C, Beljaars A, Boussetta S, Brun E, Cloke H, Dee D, Dutra E, Muñoz-Sabater J, Pappenberger F, de Rosnay P, Stockdale T, Vitart F (2015) ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set. *Hydrology and Earth System Sciences* 19:389-407
- [6] Bohnenstengel S, Schlüenzen KH, Beyrich F (2011) Representatively of in situ precipitation measurements - a case study for the LITFASS area in North-Eastern Germany. *Journal of Hydrology* 400(3-4):387-395
- [7] Bronaugh, D, Werner A (2015) Package 'zyp.' R Cran
- [8] De Leeuw J, Methven J, 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
- [9] Dee D, Uppala S, Simmons A, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, Andrae U, Balmaseda M, Balsamo G, Bauer P (2011) The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly*

- observations. *Journal of Geophysics Research* 108:21-45
- [31] Morice CP, Kennedy JJ, Rayner NA, Jones P (2012) quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 data set. *Journal of Geophysical Research* 117:1-22
- [32] Ramezani Etedali H, Liaghat A, Parsinejad M, Tavakkoli AR, Bozorg Haddad O, Ramezani Etedali M, (2013) Water Allocation Optimization for Supplementary Irrigation in Rainfed Lands to Increase Total Income (Case Study: Upstream Karkheh River Basin). *Journal of Irrigation and Drainage* 62:74-83
- [33] Raziei T, Daneshkar Arasteh P, Saghfian B (2005) Annual Rainfall Trend in Arid and Semi-arid Regions of Iran, in: ICID 21st European Regional Conference. Frankfurt (Oder) and Slubice - Germany and Poland
- [34] Raziei T, Daryabari J, Bordi I, Pereira LS (2014) Spatial patterns and temporal trends of precipitation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 115:531-540.
- [35] Raziei T, Mofidi A, Santos JA, Bordi I (2012) Spatial patterns and regimes of daily precipitation in Iran in relation to large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology* 32:1226-1237.
- [36] Raziei T, 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
- [37] Saboohi R, Soltani S, Khodaghali M (2012) Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 109:529-547.
- [38] Sahlu D, Nikolopoulos EI, Moges SA, Anagnostou EN, Hailu D (2016) First evaluation of the day-1 IMERG over the upper Blue Nile Basin. *Journal of Hydrometeorological* 17:2875-2882
- [39] Shadmani M, Marofi S, 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.
- [40] Shi H, Li T, Jiahua W (2017) Evaluation of the Gridded CRU TS Precipitation Dataset with the Point Raingauge Records over the Three-River Headwaters Region. *Journal of events and disasters to advance climate change adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Ipcc.*
- [20] Javanmard S, Yatagai A, Nodzu M, BodaghJamali J, Kawamoto H (2010) Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_3B42 over Iran. *Advances in Geosciences* 25:119-125
- [21] Katiraie-Boroujerdy PS, Nasrollahi N, Hsu K, Sorooshian S (2013) Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. *Journal of arid environments* 97:205-219
- [22] Kendall MG (1975) Rank Correlation Methods, Science Forum.
- [23] Kidd C, Dawkins E, Huffman, G (2013) Comparison of precipitation derived from the ECMWF operational forecast model and satellite precipitation datasets. *American Meteorological Society* 14:1463-1482.
- [24] Krogh SA, Pomeroy JW, McPhee J (2015) Physically Based Mountain Hydrological Modeling Using Reanalysis Data in Patagonia. *Journal of Hydrometeorology* 16(1):172-193.
- [25] Kumar D, Pandey A, Sharma N, Flugel WA (2015) Evaluation of TRMM-Precipitation with Rain-Gauge Observation Using Hydrological Model J2000. *Journal of Hydrologic Engineering* E5015007
- [26] Li Z, Yang D, 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.
- [27] Mann, HB (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society* 245-259.
- [28] Miri M, Azizi G, Khoshakhlagh F, and Ramimi M (2017) Evaluation Statistically of Temperature and Precipitation Datasets with Observed Data in Iran. *Iran-Watershed Management Science & Engineering* 10(35):40-50 (In Persian)
- [29] Moazami S, Golian S, Hong Y, Sheng C, Kavianpour MR (2016) Comprehensive evaluation of four high-resolution satellite precipitation products under diverse climate conditions in Iran. *Hydrological Sciences Journal* 61(2):420-440
- [30] Moreau E, Bauer P, Chevallier F (2003) Vibrational retrieval of rain profiles from space borne passive microwave radiance

- and their potential utilities in hydrologic modeling over the Tibetan Plateau. *Journal of Hydrology* 519: 432-437
- [45] Yue S, Pilon P, Phinney B, Cavadias G (2002) The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes* 16:1807-1829.
- [46] Zhao T, 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.
- [47] Zhao T, Fu C (2006) Comparison of products from ERA-40, NCEP-2, and CRU with station data for summer precipitation over China. *Advances in Atmospheric Sciences* 23:593-604.
- Hydrology 548:322-332.
- [41] Steiner M, Bell T, Zhang Y, 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
- [42] Tan ML, Ibrahim AL, Duan ZH, Cracknell AP, Chaplot V (2015) Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia. *Remote Sensing* 7:1504-1528
- [43] Tianobao ZH, Congbin F (2006) Comparison of products from ERA-40, NCEP-2 and CRU with station data for summer precipitation over China. *Advance in Atmospheric Science* 23(4):593-604
- [44] Tong K, Su F, Yang D, Hao Z (2014) Evaluation of satellite precipitation retrievals

Investigation of Precipitation Spatiotemporal Variations over 1957-2016 across Iran using the CRU Gridded Dataset

Hadi Ramezani Etedali^{1*}, Behnam Ababaei²

1- Associate Professor, Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2- Research Fellow, Centre for Crop Science, University of Queensland, Australia

Abstract

Precipitation affects quantity and quality of water resources and agricultural production. Therefore, the estimation and analysis of its spatial-temporal variations is of great importance. In many regions of Iran, limited spatial-temporal information is available due to sparse distribution of monitoring stations and short observational records. On the other hand, dependency of rain-fed and irrigated production systems on precipitation increases the importance of the analysis of spatiotemporal variations of this weather variable. One way to address this limitation is to use regional/global gridded datasets. In this study, monthly precipitation data were obtained from the CRU dataset (developed principally by the UK's Natural Environment Research Council (NERC) and the US Department of Energy) and used to investigate temporal trends in annual, seasonal and monthly precipitations in 675 grid cells ($0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$) across Iran over two periods, 1957-1986 and 1987-2016. The results of the previous studies showed that the CRU gridded dataset offers quality data in Iran, especially for trend analysis. Also, the accuracy of the CRU dataset was validated in 14 selected stations regarding monthly precipitations and temporal trends over two different periods, pre-1987 and post-1987. The significance of temporal trends was assessed using a modified version of the rank-based nonparametric Mann-Kendall (MK) test. Trend magnitudes (i.e. slope) were estimated with the Theil-Sen approach and the Trend Free Pre-whitening (TFPW) procedure was applied to remove the effect of serial correlation. The results confirm the acceptable accuracy of the CRU dataset for trend analysis purposes, especially over the last three decades, except in the northern strip of the country (RMSE=10.71mm, $R^2=0.84$). Two 30-year periods (1957-1986 and 1987-2016) were compared in terms of spatial patterns and temporal trends. Annual precipitation over the last three decades (1987-2016) has decreased as compare to the previous 30-year period (1957-1986) in most parts of the country. Over the last three decades, around 42% and 50% of the country's total area experienced significant and insignificant decreasing trends in annual precipitation, respectively. National average annual precipitation has decreased by 15.78 mm/decade over the same period. Three important regions regarding agricultural production experienced the most significant reductions in annual precipitation: (1) Ardebil, East Azerbaijan, Kurdistan, Kermanshah, Ilam, Lorestan, Zanjan, Hamadan, and parts of West Azerbaijan, Markazi and Gilan (in the west and northwest), (2) Sistan and Baluchestan, Kerman, and southern parts of South Khorasan (in the south and south east), and (3) North Khorasan, northern parts of Razavi Khorasan and east of Golestan (in the east and north east). Reduced annual precipitation was mainly attributed to the reduction in seasonal precipitations in winter and spring, which have critical role in agricultural production and domestic water supply. Temporal trends were also analysed at the monthly scale. January, February, March and December revealed the largest number of grid cells with significant decreasing trends over 1987-2016 while November is the only month with significant number of grid cells experiencing significant increasing trends. The results of this study show that the monthly time series of the CRU TS 4.01 dataset, which has an almost complete spatial and temporal coverage in Iran over the last 60 years, are promising alternatives to weather station observations especially in data-scarce regions of Iran. Analysis of variations and the seasonal and monthly scales help understand the recent climate change and target the most crucial features of it when it comes to formulating adaptation strategies.

Keywords: Mann-Kendall test, Trend analysis, Climate change, Monthly weather data, Interpolation.