

دگرگونی نواحی اقلیمی ایران طی بیش از نیم قرن اخیر (۱۹۶۱-۲۰۲۲)

مرجان شاهسون قره‌غونی، دانشجوی کارشناسی ارشد تغییر اقلیم، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی،

دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

marjan.shahsavanghareghoni@mail.um.ac.ir

*رضا دوستان، دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

doostan@um.ac.ir

ایمان بابائیان، دانشیار، گروه مدل‌سازی و پیش‌آگاهی اقلیمی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم

جو، مشهد، ایران

i.babaeian@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۰

چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی تغییر احتمالی رخ داده در طبقه اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی کشور انجام شد. دوره مورد مطالعه به دو دوره نرمال مرجع (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و نرمال اخیر (۱۹۹۳-۲۰۲۲) تقسیم شد. برای شناسایی طبقه اقلیمی ایستگاه‌ها از دو روش یونپ و دومارتن استفاده شد. نتایج نشان دادند که بر اساس شاخص یونپ، تعداد ایستگاه‌های با اقلیم مرطوب از ۹ ایستگاه در دوره نرمال مرجع به ۵ ایستگاه در دوره نرمال اخیر کاهش یافته‌اند؛ در مقابل تعداد ایستگاه‌های نیمه خشک و خشک از ۲۵ به ۳۳ و ایستگاه‌های بیابانی از ۴ به ۶ افزایش یافته‌اند و تعداد ایستگاه‌های با اقلیم نیمه مرطوب از ۴ به ۱ کاهش یافته‌اند. بر اساس شاخص دومارتن، تعداد ایستگاه‌های با اقلیم نیمه خشک تا فراخشک از ۳۲ ایستگاه در دوره نرمال مرجع به ۴۰ در دوره نرمال اخیر افزایش یافته است و در مقابل تعداد ایستگاه‌های با اقلیم خیلی مرطوب تا مدیترانه‌ای از ۱۰ به ۵ ایستگاه کاهش یافته‌اند. همچنین در دوره ۱۹۶۱-۲۰۲۲ به ترتیب در ۳۱٪، ۷۸٪ و ۷۶٪ از ایستگاه‌ها کاهش بارش، افزایش دما و افزایش تبخیر/تعرق در سطح ۰٫۰۵ معنادار بوده‌اند. نتایج این تحقیق می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های افق بلندمدت، آمایش سرزمین و لزوم سازگاری با تغییر اقلیم مورد توجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: ایران، تغییر اقلیم، روند، شاخص خشکی، طبقه اقلیمی.

مقدمه

اقلیم شرایط هوای غالب یک منطقه در بلندمدت است. پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهند که از نیمه قرن بیستم، همزمان با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسیدکربن به دلیل استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی منجر به تغییر اقلیم در کره زمین شده است (IPCC, 2014: 207; Ebi et al, 2021: 294). تغییر اقلیم یکی از مهمترین چالش‌هایی است که بر جنبه‌های مختلف زندگی انسان و محیط زیست در قرن حاضر تأثیر گذاشته و انتظار می‌رود در صورت عدم کاهش گازهای گلخانه‌ای در جو، این روند ادامه داشته باشد. الگوهای بزرگ‌مقیاس جو و اقیانوس از سازندگان اصلی اقلیم یک منطقه به شمار می‌روند. ایران با متوسط بارندگی سالانه تقریباً ۲۵۰ میلی‌متر به دلیل واقع شدن در کمربند فرونشینی هوا در نیمکره شمالی دارای اقلیم غالباً به صورت خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. مناطق خشک و نیمه‌خشک تقریباً ۴۰ درصد وسعت کره زمین را تشکیل می‌دهند که بیشتر در کشورهای در حال توسعه قرار دارند (اکبری، ۱۴۰۱: ۱؛ عیسی رضایی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۷۶، ۱۰۵: 105، 101: 105). اقلیم ایران، از نظر زمانی و مکانی، بسیار متغیر و ضریب تغییرات بارندگی‌های سالانه آن بیش از ۷۰ درصد است (Nazemosadat and Cordery, 2000: 67)؛ (Bannayanand and Sanjani, 2011: 1589). خشکسالی هر ساله بخش‌های قابل توجهی از کشور پهناور ایران را تحت تأثیر قرار داده و خسارات اقتصادی جبران‌ناپذیری را به همراه دارد، لذا شناسایی مناطق اقلیمی و ویژگی‌های آنها در شرایط تغییر اقلیم می‌تواند به سیاست‌گذاران در تصمیم‌گیری در مورد برنامه ریزی مرتبط با اقلیم کمک کند (خلیلی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱).

طبقه‌بندی اقلیمی از دیرباز مورد توجه اقلیم‌شناسان بوده و با استفاده از روش‌های گوناگون و بر اساس متغیرهای مهم اقلیمی مانند بارش و دما، اقلیم زمین را به مناطق اقلیمی گوناگون طبقه‌بندی می‌کردند. از جمله در مطالعه‌ای نشان داده شد از آنجا که ایران عمدتاً در عرض‌های میانی قرار دارد، لذا وضعیت اقلیم خشک ذاتی همراه با بی‌نظمی بارندگی می‌تواند خطر خشکسالی را کشور افزایش دهد (Mansouri et al, 2019: 1). برخی تحقیقات انجام شده طبقه اقلیمی خشک‌تر را علاوه بر رویدادهای بارشی کمتر در فصل سرد را برای آینده ایران به عنوان بخشی از پیامدهای تغییر اقلیم برآورد کرده‌اند (غلام پورشماسی و همکاران، ۲۰۲۰: ۲۵۹۵؛ Abolverdi et al, 2014: 177). که با یافته‌های کوهی و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر کاهش تعداد روزهای همراه با بارش در ایران هماهنگ است. افزایش خطر خشکسالی و جابجایی طبقه اقلیمی ایران به اقلیم خشک‌تر می‌تواند در دوره‌های آبی امنیت آب و غذا را به‌ویژه برای ساکنان شهرهای پرجمعیت تهدید خواهد کرد. در مطالعه دیگری با استفاده از شاخص‌های مختلف خشکی، نتیجه‌گیری شد که اغلب پهنه‌های اقلیمی ایران، به ویژه اقلیم نیمه‌خشک تا خشک، در مقایسه با سایر پهنه‌های اقلیمی شرایط کم‌آبی شدیدتری را در دوره ۴۸ ساله ۱۳۷۸-۱۳۴۰ تجربه کرده‌اند (Ashraf et al., 2014: 35). نتایج بررسی تغییر شاخص خشکی یونپ در غرب و شمال غرب ایران در دوره (۲۰۱۰-۱۹۸۱) توسط طاوسی و همکاران (۱۳۹۹: ۱۷) حاکی از تغییر شرایط اقلیمی نیمه مرطوب به شرایط آب و هوایی خشک و از شرایط آب و هوایی مرطوب به شرایط آب و هوایی نیمه خشک بوده است. علاوه بر این، یافته‌های طاوسی و همکاران (۱۳۹۸: ۸۵) برای پهنه‌های اقلیمی شمال ایران طی دوره زمانی ۲۰۱۷-۱۹۹۰ حاکی از افزایش شرایط خشکی در منطقه است. فتحی تپه رشت و همکاران (۱۴۰۰: ۳۷) با مطالعه بر روی ۱۵۳ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۷۴ نتیجه گرفتند که روند افزایشی مساحت اقلیم‌های خشک و نیمه خشک همچنان ادامه دارد و اقلیم‌های خشک و نیمه خشک بیش از ۹۶٪ مساحت کل ایران را تشکیل می‌دهند.

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

دهند. همچنین بر اساس مطالعه رنجبر و طباطبایی (۱۴۰۱: ۱۲)، در ایستگاه های نوار شمالی کشور در بازه زمانی ۲۰۱۹-۱۹۸۲ بارش روند کاهشی و دما و شاخص خشکی AI روند افزایشی داشته اند.

برخی مطالعات دیگر بر پیش‌نگری تغییرات احتمالی در طبقات اقلیمی مناطق مختلف ایران طبق سناریوهای مختلف انتشار و مدل‌های گردش کلی در دوره‌های آینده تمرکز کرده‌اند. از جمله، در بررسی تأثیر تغییر اقلیم جهانی بر شرایط اقلیمی ایران، مشخص شد که اقلیم ایران به سوی اقلیم گرم‌تر و خشک‌تر تغییر می‌کند. در حالیکه هم اکنون آب و هوای فوق سرد-خشک (A1.1m2) بزرگترین پهنه اقلیمی کشور با ۲۱,۴٪ را در بر می‌گیرد، اما سناریوهای آینده A1B و A2 در دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰، آب و هوای فوق العاده خشک-معتدل (A1.1m3) و فوق العاده خشک-گرم (A1.1m4) اقلیم غالب کشور خواهند بود و بیشترین مساحت کشور را به ترتیب حدود ۲۱ و ۳۸ درصد پوشش خواهند داد (Rahimi et al., 2013: 409). بختیاری و همکاران (۱۴۰۰: ۱)، شاخص خشکی AI^۲ را برای دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۵۰ با استفاده از برونداد مدل گردش عمومی CanESM^۳ طبق دو سناریوی RCP4.5^۴ و RCP8.5^۴ و مدل مقیاس‌گاهی SDSM^۵ برای ۵ نمونه اقلیمی ایران پیش‌نگری کردند. نتایج آنها نشان از افزایش خشکی در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه بود. در همین ارتباط، الله‌پوردی پور و همکاران (۱۴۰۲: ۱۰)، با بکارگیری برونداد مدل CanESM2 از سری مدل‌های CMIP5^۶ و انجام مقیاس‌گاهی با مدل-LARS^۷ در یافتند که طبق دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 قسمت اعظم ایران (۹۰/۴۹ درصد) اقلیمی خشک و نیمه‌خشک دارد، به طوری که اقلیم خشک ۶۸/۸۲ درصد و اقلیم نیمه‌خشک ۲۱/۹۷ درصد آن را تشکیل می‌دهد.

در پژوهش حاضر به روند تغییرات بارش، تبخیر-تعرق و جابجایی نواحی اقلیمی کشور ناشی از افزایش گرمایش جهانی بر اساس دو روش طبقه‌بندی اقلیمی یونپ و دمارتن پرداخته است. سوال اصلی این پژوهش این است که آیا تغییری در طبقات اقلیمی ایستگاه‌های دارای آمار طولانی مدت کشور رخ داده است یا خیر؟ برای این منظور دوره آماری مورد مطالعه به دو دوره نرمال اخیر (۲۰۲۲-۱۹۹۳) و دوره نرمال مرجع (۱۹۶۱-۱۹۹۰)، مشخص شده از سوی سازمان جهانی هواشناسی، تقسیم شده است و در هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی، طبقه اقلیمی دوره نرمال اخیر با طبقه اقلیمی دوره نرمال مرجع مقایسه و تحلیل شده است.

روش پژوهش

داده های هواشناسی

برای انجام این مطالعه، داده های دما و بارش ۴۵ ایستگاه هواشناسی همدیدی کشور دارای آمار از حدود سال ۱۹۶۱ استفاده شد. برای برآورد طبقه اقلیمی بر مبنای شاخص خشکی در دوره های نرمال مرجع ۱۹۶۱-۱۹۹۰ (تعیین شده از سوی سازمان جهانی هواشناسی برای مطالعات تغییر اقلیم)، دوره نرمال اخیر ۲۰۲۲-۱۹۹۳ از دو شاخص یونپ و دمارتن استفاده شد. داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی کشور اخذ شدند. برای بررسی روند تغییرات و شیب آنها از آزمون‌های من-کندال

² Aridity Index

³ Canadian Earth System Model

⁴ Representative Concentration Pathway

⁵ Statistical Down Scaling Model

⁶ Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5

⁷ Long Ashton Research Station Weather Generator

و شیب سن استفاده شد. لازم به ذکر است تاسیس تعدادی از ایستگاهها بعد از سال ۱۹۶۱ بوده است ولی به دلیل مرکزیت استان یا موقعیت جغرافیایی خاص به ایستگاههای مورد مطالعه افزوده شدند.

محاسبه تبخیر تعرق

در این مطالعه تبخیر تعرق پتانسیل بر اساس روش تورنت وایت طبق معادله (۱) محاسبه شد که در آن T دمای میانگین ماهانه و a ضریبی است که طبق رابطه (۲) محاسبه می شود (Thornthwaite, 1948: 55).

$$PET = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad \text{رابطه ۱}$$

$$a = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.792 \times 10^{-2})I + 0.492 \quad \text{رابطه ۲}$$

شاخص حرارتی سالانه I با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می شود. مجموع شاخص حرارتی ۱۲ ماه سال با بکارگیری معادله (۴) محاسبه می شود.

$$I = \sum_{k=1}^{12} I_m \quad \text{رابطه ۳}$$

$$I_m = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.51} \quad \text{رابطه ۴}$$

طبقه بندی اقلیمی

برای طبقه بندی اقلیمی از دو روش یونپ طبق معادله (۵) و دمارتن طبق رابطه (۶) استفاده شد. در رابطه (۵) R شاخص خشکی، P مجموع بارش سالانه و ETP میانگین تبخیر تعرق پتانسیل بر حسب میلیمتر هستند (طاوسی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۱).

$$R = \frac{P}{ETP} \quad \text{رابطه ۵}$$

مطابق جدول ۱، طبقه (تیپ) اقلیمی هر ایستگاه بر اساس شاخص خشکی یونپ از فرا خشک تا مرطوب و بسیار مرطوب طبقه بندی می گردد.

جدول ۱ تیپهای اقلیمی مختلف بر اساس شاخص خشکی یونپ (طاوسی، ۱۳۹۷: ۸۹).

وضعیت اقلیمی	شاخص خشکی	تیپ اقلیمی
بیابان واقعی	$R < 0,05$	فرا خشک
بیابان بسیار شدید	$0,05 < R < 0,2$	خشک
بیابان شدید	$0,2 < R < 0,5$	نیمه خشک
بیابان متوسط	$0,5 < R < 0,56$	خشک نیمه مرطوب
بیابان کم	$0,56 < R < 0,75$	نیمه مرطوب
بیابان ندارد	$0,75 < R$	مرطوب و بسیار مرطوب

در روش دومارتن، طبقه بندی اقلیمی طبق معادله (۶) برآورد می شود که در آن P میانگین سالانه بارندگی (mm) و T میانگین سالانه دمای متوسط روزانه (C°) است. طبقه های اقلیمی اصلی دمارتن (جدول ۲)، شامل اقلیم خشک (۰-۱۰)، نیمه خشک

(۱۰-۲۰)، مدیترانه‌ای (۲۰-۲۴)، نیمه مرطوب (۲۴-۲۸)، مرطوب (۲۸-۳۵) و خیلی مرطوب (بیشتر از ۳۵) می باشد که طبقه اخیر خود به دو لایه خیلی مرطوب الف (۳۵-۵۰) و خیلی مرطوب ب (بیشتر از ۵۰) تقسیم می‌شود.

$$a = \frac{P}{T+10}$$

رابطهٔ ۶

در طبقه‌بندی دمارتن مناطق خشک با شاخص کمتر از ده تعریف شده‌اند که با توجه به وسعت زیاد این اقلیم در ایران و همچنین در عرض‌های میانی و جنب‌حاره‌ای، تفاوت آشکاری در توان و اکولوژی مناطق زیر پوشش این طبقه مشاهده می‌شود، به قسمی که در آن دست کم دو زیر اقلیم (شدیداً خشک و نسبتاً خشک) قابل تشخیص است. از این رو این طبقه به دو طبقه فرا خشک (۰-۵) و خشک بیابانی (۵-۱۰) تفکیک شدند (خلیلی و همکاران، ۱۴۰۰: ۵).

جدول ۲ تیپ‌های اقلیمی مختلف بر اساس شاخص خشکی دمارتن (خلیلی و همکاران، ۱۴۰۰: ۵)

تیپ اقلیمی	شاخص خشکی
فرا خشک	۵-۰
خشک بیابانی	۱۰-۵
نیمه خشک	۱۹,۹-۱۰
مدیترانه ای	۲۳,۹-۲۰
نیمه مرطوب	۲۷,۹-۲۴
مرطوب	۳۴,۹-۲۸
بسیار مرطوب	۳۵≥

آزمون روند من-کندال و شیب سن

برای بررسی وجود روند از آماره من-کندال (Mann, 1945: 245 ; Kendall, 1975: 375)، استفاده شد که یک آزمون ناپارامتری برای داده‌های با توزیع نامشخص است. در آزمون من-کندال فرض صفر تصادفی بودن داده‌ها و عدم وجود روند در آنها است و فرض یک (رد فرض صفر) وجود روند در سری داده‌ها می باشد. برای بررسی شیب روند در سری زمانی داده‌هایی که توزیع آنها نرمال نیست یا ناشناخته است، از روش ناپارامتری سنس Sen'S استفاده می شود (Theil, 1950: 1397 ; Sen, 1968). برای جزئیات بیشتر از روش محاسبه روند و شیب به اکبری و همکاران (۱۴۰۱: ۱) مراجعه شود.

منطقه مورد مطالعه

ایران دارای شرایط اقلیمی متنوع از فراخشک تا خیلی مرطوب است. جهت‌مندی کوه‌های اصلی ایران (کوه‌های البرز در شمال و رشته‌های زاگرس در غرب و جنوب)، همجواری با بیابان‌های گرم و خشک شبه‌جزیره عربی و دوری آن از اقیانوس‌ها از مهم‌ترین دلایل اقلیم‌های مختلف ایران است. بیشترین میزان بارندگی سالانه در نواحی ساحلی دریای خزر (تا بیش از ۲۰۰۰ م.م) و همچنین نواحی شمالی و شمال غربی کشور و کمترین بارش سالانه در نواحی جنوبی و شرقی کشور و نواحی بیابانی مرکزی (تا کمتر از ۱۰۰ م.م) رخ می دهد (بختیاری و همکاران، ۱۴۰۰: ۳).

یافته ها و بحث

روند و شیب بارش، دما و تبخیر-تعرق

در جدول ۳ نتایج آزمون معنیداری تغییرات و شیب سن هر یک از ایستگاههای مورد مطالعه برای بارش، دما و تبخیرتعرق آورده شده است. در ۱۴ ایستگاهها (۳۱٪) کاهش بارش، در ۳۵ (۷۷٫۸٪) ایستگاه افزایش دما و در ۳۴ ایستگاه (۷۵٫۶٪) افزایش تبخیرتعرق معنادار است. در بین ایستگاههای مورد مطالعه در ۸ ایستگاه ارومیه، اردبیل، ایلام، کرمان، کرمانشاه، سنندج، شهرکرد، تبریز تغییرات در هر سه متغیر در سطح ۰٫۰۵ معنادار (کاهش بارش، افزایش دما و تبخیرتعرق) است. بجز ایستگاه کرمان، بقیه ایستگاههای فوق در غرب کشور واقع شده‌اند که نشان از تاثیرپذیری بیشتر ایستگاههای واقع در غرب کشور از گرمایش جهانی است. همدان و سمنان تنها ایستگاههایی هستند که تغییرات در هر سه متغیرهای مورد بررسی معنادار نیستند. بر اساس شیب سن، بیشترین شیب کاهش بارش سالانه در ایستگاههای گرگان و بیرجند به ترتیب با ۳٫۶۹۷- و ۳٫۲۰۸- م.م. بر سال، بیشترین افزایش دما در ایستگاههای مشهد و یزد به ترتیب با ۰٫۷۲۹ و ۰٫۶۲۶ درجه سلسیوس بر سال و بیشترین افزایش تبخیرتعرق در ایستگاههای اهواز و آبادان به ترتیب با ۲۵٫۸۸۳ و ۲۵٫۸۸۲ م.م. بر سال رخ داده است. صرفنظر از معناداری تغییرات، روندهای دما و تبخیرتعرق در تمامی ایستگاهها مثبت و در مورد بارش منفی است. سال آغاز تغییرات در سه متغیر فوق در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۱۹۸۲ بوده است. دیرترین زمان نقطه شروع تغییر در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ رخ داده است. در شکل ۱، سال تغییر و شیب سن ایستگاههای اهواز، گرگان، مشهد به عنوان نمونه آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین شیب تغییرات مربوط به متغیر تبخیرتعرق است که اغلب کاهش همزمان بارش و افزایش دما موجب شیب زیاد افزایش تبخیرتعرق در مقایسه با شیب بارش یا دما به صورت منفرد شده است.

جدول ۳ نتایج آزمون من کندال و شیب سن و نقطه سال تغییر ایستگاه ها

نام ایستگاه	سطح معناداری			شیب سن			سال تغییر		
	بارش	دما	تبخیر تعرق	بارش	دما	تبخیر تعرق	بارش	تبخیر	دما
آبادان	-	0.05	0.05	-0.331	0.051	25.882	2007	1996	2005
اراک	-	0.05	0.05	-0.112	0.016	0.777	2008	2008	2009
اردبیل	0.05	0.05	0.05	-0.0003	0.025	0.067	1985	1990	1990
ارومیه	0.05	0.05	0.05	-0.679	0.283	1.904	1985	2005	1998
اصفهان	-	0.05	0.05	-0.086	0.330	1.727	1995	2008	1999
اهواز	-	0.05	0.05	-0.570	0.605	25.883	1985	1998	1998
ایلام	0.05	0.05	0.05	-2.024	0.099	3.596	1995	2010	2000
بابلسر	-	0.05	0.05	-1.638	0.035	2.12	2005	1990	1989
بجنورد	-	0.05	0.05	-1.311	0.284	1.013	1985	1990	1992
بم	-	0.05	0.05	-0.160	0.586	12.509	1998	1998	1998
بندر انزلی	-	0.05	0.05	-1.306	0.332	1.441	1989	1990	1990
بندر عباس	-	-	0.05	-0.077	0.069	3.596	2002	2008	2008
بوشهر	-	0.05	0.05	-0.159	0.429	10.907	1995	1985	1995
بیرجند	0.05	-	-	-3.208	0.605	0.297	1990	2005	2005
تبریز	0.05	0.05	0.05	-1.256	0.456	1.630	1985	1985	1985
تربت حیدریه	-	0.05	0.05	-0.413	0.111	0.522	2002	2010	2007

1992	1989	2009	3.089	0.497	-0.390	0.05	0.05	-	تهران
1990	1990	2002	5.945	0.038	-0.058	-	0.05	0.05	جزیره ابوموسی
2000	2010	1995	0.117	0.084	-2.054	-	-	0.05	خرم آباد
1992	1992	1985	2.090	0.567	-1.25	-	0.05	0.05	خوی
1992	1990	2000	1.862	0.407	-1.118	0.05	0.05	-	رامسر
1992	1985	1990	1.988	0.136	-2.697	0.05	0.05	-	رشت
1996	1995	1996	7.158	0.368	-0.259	0.05	0.05	-	زابل
1998	1990	1985	8.164	0.469	-0.269	-	-	-	زاهدان
2000	2000	1985	0.680	0.330	-0.564	0.05	0.05	-	زنجان
1992	1990	2000	1.998	0.236	-2.617	0.05	0.05	-	ساری
1985	1982	1995	3.605	0.045	-0.083	0.05	0.05	-	سبزوار
2005	2003	1995	1.943	0.522	-2.441	0.05	0.05	0.05	سنندج
2000	1992	1990	0.723	0.258	-0.348	0.05	-	0.05	سقز
1985	1985	1985	1.709	0.511	-0.020	-	-	-	سمنان
1990	1989	1995	1.909	0.411	-0.016	0.05	0.05	-	شاهرود
1982	1982	1982	0.894	0.198	-1.669	0.05	0.05	0.05	شهرکرد
1980	1989	2005	2.619	0.429	-0.239	0.05	0.05	-	شیراز
1983	1992	1982	3.342	0.603	-0.098	0.05	0.05	-	طبرس
1995	2000	1995	0.723	0.258	-0.348	0.05	0.05	-	قزوین
1999	1985	2000	0.845	0.153	-0.678	0.05	0.05	-	قم
1992	1989	2009	0.992	0.597	-0.390	-	-	-	کرج
1992	1995	1995	1.818	0.481	-0.694	0.05	0.05	0.05	کرمان
1997	1995	1995	1.941	0.554	-1.984	0.05	0.05	0.05	کرمانشاه
1990	1995	1990	1.188	0.126	-3.697	0.05	0.05	-	گرگان
1995	1992	1999	3.167	0.729	-0.132	0.05	0.05	-	مشهد
1985	1986	1985	1.635	0.453	-0.013	-	-	-	همدان
1982	1982	1982	1.923	0.542	-2.421	-	-	0.05	یاسوج
2000	1995	2002	4.380	0.626	-0.071	0.05	0.05	-	یزد
2002	2000	1980	1.141	0.173	-0.805	-	0.05	-	چابهار

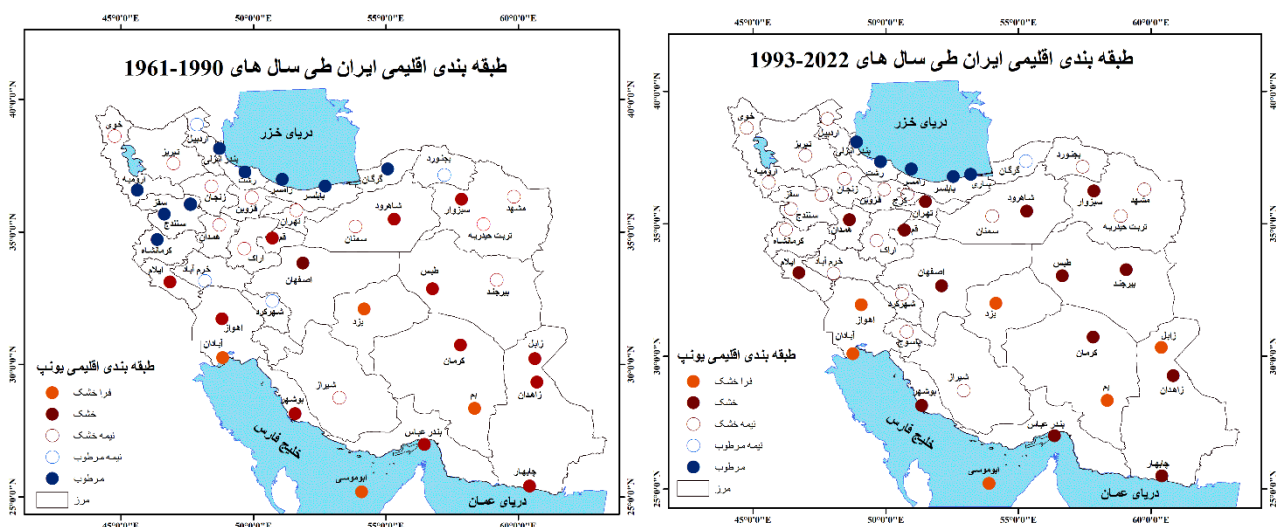


شکل ۱ نمودار من-کندال و شیب سن برای تبخیر تعرق (راست)، بارش (وسط) و دما (چپ) در ۳ ایستگاه نمونه به ترتیب از بالا به پایین گرگان، اهواز و مشهد.

جابجایی طبقات اقلیمی

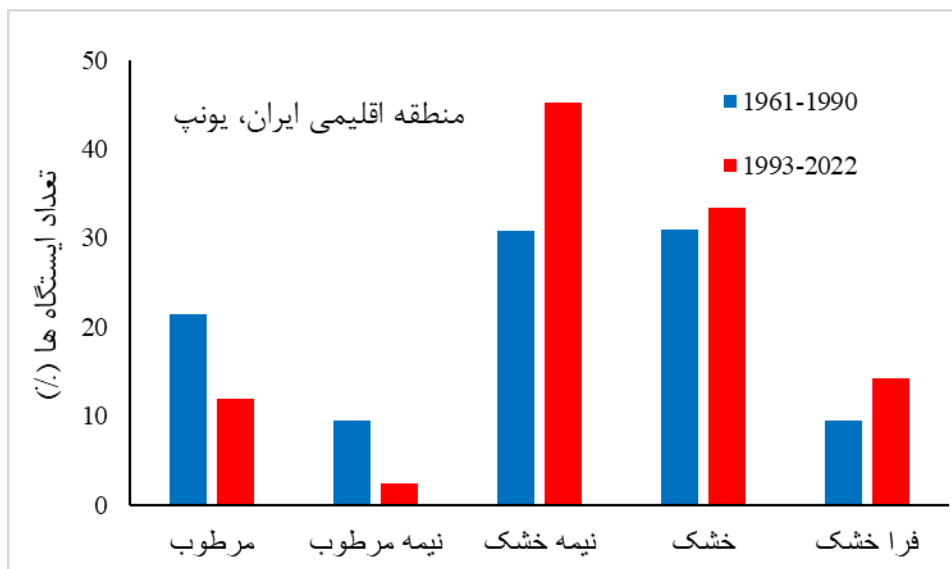
روش یونپ

در شکل ۲ نتایج حاصل از طبقه بندی اقلیمی به روش یونپ برای دوره‌های نرمال مرجع (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و نرمال اخیر (۲۰۲۲-۱۹۹۳)، برای ۴۵ ایستگاه آورده شده است. در دوره نرمال مرجع ۴ ایستگاه بصورت اقلیم فراهشک-بیابانی(آبادان، ابوموسی، بم، یزد)، ۱۳ ایستگاه خشک (سبزوار، طیس، زابل، زاهدان، چابهار، کرمان، شاهرود، بندر عباس، بوشهر، اصفهان، اهواز، قم، ایلام)، ۱۲ ایستگاه نیمه خشک (مشهد، تربت حیدریه، بیرجند، سمنان، شیراز، تهران، اراک، همدان، قزوین، زنجان، تبریز، خوی)، ۴ ایستگاه نیمه مرطوب (بجنورد، شهرکرد، خرم آباد، اردبیل) و ۹ ایستگاه مرطوب (گرگان، بابل، رامسر، رشت، بندر انزلی، ارومیه، سقز، سنندج، کرمانشاه) طبقه بندی شدند. در دوره نرمال اخیر ۶ ایستگاه بصورت اقلیم فراهشک-بیابانی(اهواز، آبادان، یزد، زابل، بم، ابوموسی)، ۱۴ ایستگاه خشک (سبزوار، طیس، بیرجند، کرمان، زاهدان، چابهار، ابوموسی، شاهرود، بوشهر، اصفهان، تهران، قم، همدان، ایلام)، ۱۹ ایستگاه نیمه خشک (بجنورد، مشهد، تربت حیدریه، شیراز، سمنان، یاسوج، شهرکرد، اراک، خرم آباد، کرمانشاه، سقز، اردبیل، خوی، کرج، قزوین، زنجان، سنندج، ارومیه، تبریز)، ۱ ایستگاه نیمه مرطوب (گرگان) و ۵ ایستگاه مرطوب (ساری، بابل، رامسر، رشت، بندر انزلی) تعیین شدند.



شکل ۲ نواحی اقلیمی ایستگاه های مورد مطالعه بر مبنای شاخص یونپ. چپ: دوره نرمال مرجع (۱۹۶۱-۱۹۹۰)، راست: دوره نرمال اخیر (۲۰۲۲-۱۹۹۳)

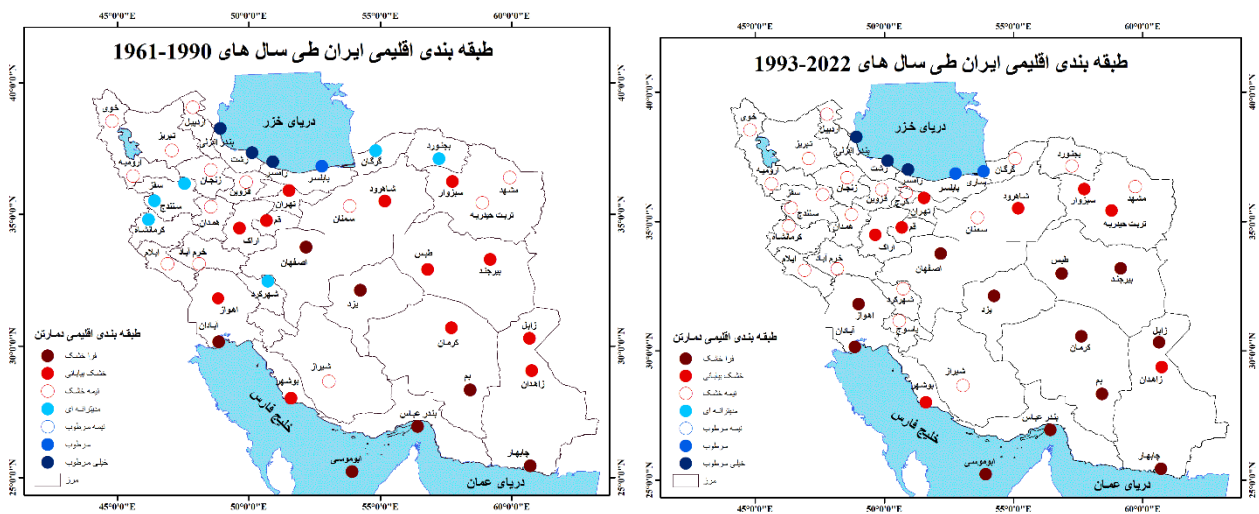
در شکل ۳ تعداد ایستگاههای متعلق به طبقات اقلیمی مختلف بر اساس شاخص یونپ در دوره نرمال مرجع و نرمال اخیر آورده شده است. شکل نشان می دهد که در مجموع سهم ایستگاههای دارای اقلیم نیمه مرطوب تا مرطوب از کل ایستگاههای کشور در دوره مرجع ۳۱ درصد بوده است که دوره نرمال اخیر به ۲۰ درصد کاهش یافته است. همچنین سهم ایستگاههای با اقلیم نیمه خشک تا فراهشک در دوره مرجع ۶۹,۰۴ درصد بوده است که در دهه اخیر به ۸۶,۶۶ درصد افزایش یافته است. به عبارت دیگر در دوره نرمال اخیر نزدیک به ۱۰ درصد از ایستگاههای با اقلیم نیمه مرطوب تا مرطوب به اقلیم نیمه خشک تا فراهشک جابجا شده اند. در بین ایستگاههای مورد مطالعه مهمترین تغییر در اقلیم ایستگاه ارومیه رخ داده است که از اقلیم مرطوب به نیمه خشک تغییر یافته است.



شکل ۳ تعداد (درصد) ایستگاههای با نواحی اقلیمی مختلف در دوره نرمال مرجع (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره نرمال اخیر (۱۹۹۳-۲۰۲۲) بر مبنای شاخص یونپ

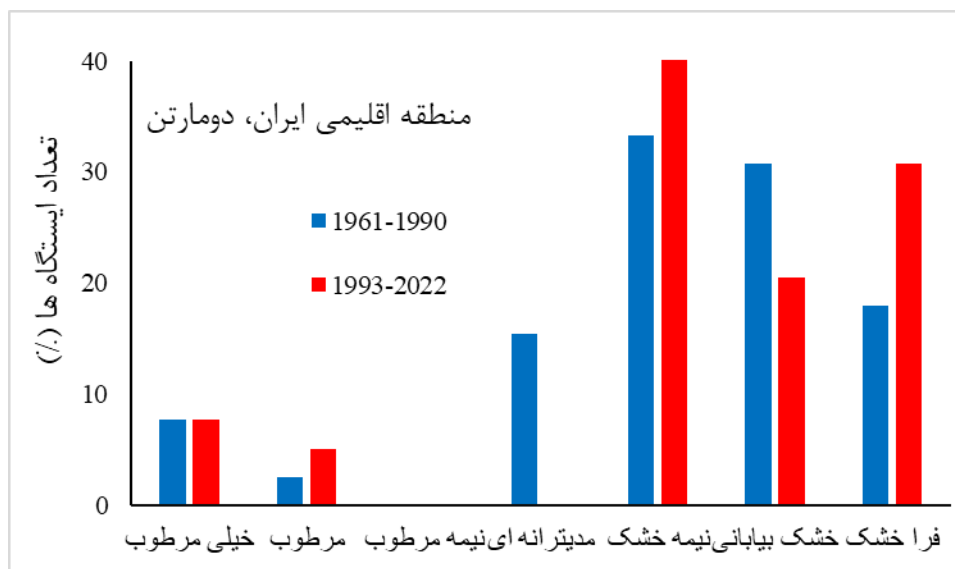
روش دومارتن

در این بخش نتایج حاصل از طبقه بندی اقلیمی به روش دومارتن آورده شده است. مطابق شکل ۴ در دوره نرمال مرجع اقلیم ۷ ایستگاه اصفهان، یزد، آبادان، بم، چابهار، بندر عباس، ابوموسی در حالت فراخشک، ۱۲ ایستگاه سبزوار، بیرجند، طبس، کرمان، زابل، زاهدان، شاهرود، بوشهر، اهواز، اراک، قم، تهران در حالت خشک بیابانی، ۱۳ ایستگاه مشهد، تربت حیدریه، شیراز، سمنان، خرم آباد، ایلام، همدان، قزوین، زنجان، تبریز، ارومیه، اردبیل، خوی در حالت نیمه خشک، ۶ ایستگاه بجنورد، گرگان، شهرکرد، خرم آباد، سنندج، سقز در حالت مدیترانه ای، ایستگاه بابلسر در حالت مرطوب و سه ایستگاه رامسر، رشت، بندر انزلی در حالت خیلی مرطوب قرار گرفته اند. در دوره نرمال اخیر طبقه بندی اقلیمی ایستگاههای کشور به گونه ای است که ۱۲ ایستگاه طبس، بیرجند، زابل، چابهار، بم، کرمان، بندر عباس، ابوموسی، یزد، اصفهان، اهواز، آبادان در حالت فرا خشک، ۸ ایستگاه سبزوار، تربت حیدریه، زاهدان، شاهرود، بوشهر، تهران، قم، اراک در حالت بیابانی، ۲۰ ایستگاه گرگان، بجنورد، مشهد، سمنان، شیراز، شهرکرد، یاسوج، کرج، خرم آباد، ایلام، همدان، سنندج، کرمانشاه، سقز، ارومیه، خوی، تبریز، اردبیل، قزوین، زنجان در حالت نیمه خشک، ایستگاه ساری، بابلسر در حالت مرطوب و ۳ ایستگاه رامسر، رشت، بندر انزلی در حالت خیلی مرطوب قرار دارند.



شکل ۴ نواحی اقلیمی ایستگاه های مورد مطالعه بر مبنای شاخص دمارتن. چپ: دوره نرمال مرجع (۱۹۶۱-۱۹۹۰)، راست: دوره نرمال اخیر (۲۰۲۲-۱۹۹۳)

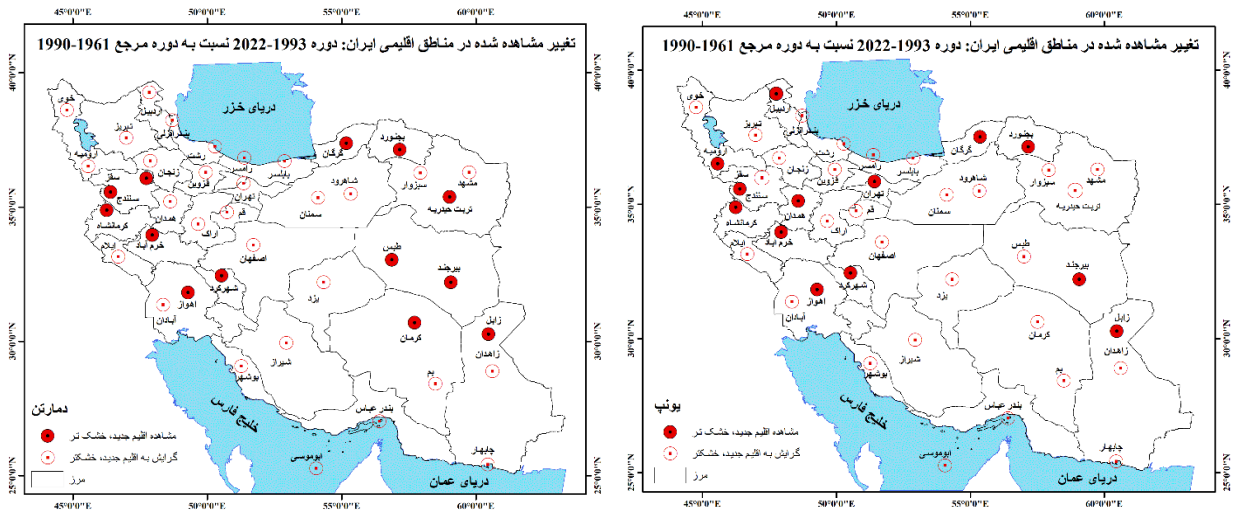
در شکل ۵ تعداد ایستگاههای متعلق به طبقات اقلیمی مختلف بر اساس شاخص دمارتن در دوره نرمال مرجع و نرمال اخیر آورده شده است. شکل نشان می دهد که در مجموع سهم ایستگاههای دارای اقلیم مدیترانه ای تا فوق مرطوب از کل ایستگاههای کشور در دوره مرجع ۲۳,۸۰ درصد بوده است، در حالیکه در دوره نرمال اخیر به ۱۱,۱۲ کاهش یافته است. همچنین سهم ایستگاههای با اقلیم نیمه خشک تا فراخشک در دوره مرجع ۷۶,۱۹ درصد بوده است که در دوره نرمال اخیر به ۸۸,۸۹ درصد افزایش یافته است. مطابق نتایج، ایستگاههای با اقلیم مدیترانه ای به کلی حذف و به تعداد ایستگاههای فراخشک ۱۳ درصد افزوده شده است.



شکل ۵ تعداد (درصد) ایستگاههای با نواحی اقلیمی مختلف در دوره نرمال مرجع (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دوره نرمال اخیر (۱۹۹۳-۲۰۲۲) بر مبنای شاخص دمارتن

تغییرات رخ داده در نواحی اقلیمی

نتایج حاصل از مقایسه طبقه‌بندی اقلیمی کشور در دوره نرمال اخیر ۲۰۲۲-۱۹۹۳ با دوره نرمال مرجع ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و تغییرات رخ داده طبق دو روش یونپ و دمارتن در شکل ۶ نشان داده شده است. مطابق روش یونپ اقلیم ۲۸,۸ درصد (۱۳ ایستگاه) از ایستگاهها شامل گرگان، بجنورد، بیرجند، زابل، شهرکرد، اهواز، تهران، همدان، خرم آباد، کرمانشاه، سنندج، اردبیل، ارومیه به طبقه اقلیمی خشک‌تر تغییر یافته است. تعداد ایستگاههایی که ناحیه اقلیمی آنها تغییر کرده است معادل ۳۱ درصد کل ایستگاههای مورد مطالعه است. در تمامی ایستگاههای باقیمانده شاخص یونپ روند جابجایی به سوی اقلیم خشک‌تر را نشان می‌دهد که در صورت تداوم افزایش دما یا کاهش بارش در دهه‌های آتی احتمال تغییر ناحیه اقلیمی آنها به اقلیم خشک‌تر وجود دارد. اما بر اساس شاخص دمارتن اقلیم ۳۱,۱ درصد از ایستگاهها (۱۴ ایستگاه) به شرایط خشک‌تر تغییر یافته است که عبارتند از: بجنورد، تربت حیدریه، گرگان، طبس، بیرجند، کرمان، زابل، قم، شهرکرد، اهواز، زنجان، خرم آباد، سقز، کرمانشاه. ایستگاه‌هایی که اقلیم آنها بر اساس شاخص دمارتن تغییر یافته‌اند معادل درصد کل ایستگاههای مورد مطالعه است. با این حال در تمام ایستگاههای باقیمانده روندی به سوی اقلیم خشک‌تر دیده می‌شود.



شکل ۶ تغییرات رخ داده در نواحی اقلیمی ایران در دوره نرمال اخیر (۲۰۲۲-۱۹۹۳) نسبت به دوره مرجع (۱۹۶۱-۱۹۹۰). راست: روش یونپ و چپ: روش دمارتن

نتایج شاخص یونپ نشان داد که تعداد ایستگاههای با اقلیم مرطوب از ۹ ایستگاه در دوره نرمال مرجع به ۵ ایستگاه در دوره نرمال اخیر کاهش یافته‌اند و در مقابل تعداد ایستگاههای نیمه خشک و خشک از ۲۵ به ۳۳ و ایستگاههای با اقلیم بیابانی از ۴ به ۶ افزایش یافته‌اند و تعداد ایستگاههای با اقلیم نیمه مرطوب از ۴ به ۱ کاهش یافته‌اند. نتایج شاخص دمارتن نشان داد که تعداد ایستگاههای با اقلیم نیمه خشک تا فراخشک از ۳۲ در دوره نرمال مرجع ۱۹۶۱-۱۹۹۰ به ۴۰ در دوره نرمال اخیر (۲۰۲۲-۱۹۹۳) افزایش یافته است و در مقابل تعداد ایستگاههای با اقلیم خیلی مرطوب تا مدیترانه‌ای از ۱۰ به ۵ ایستگاه کاهش یافته‌اند. علاوه بر این نتایج آزمون من-کندال و شیب سن نتایج نشان دادند که در ۱۴ ایستگاه (۳۱٪) کاهش بارش، در ۳۵ (۷۷,۷۸٪) ایستگاه افزایش دما و در ۳۴ ایستگاه (۷۵,۵۶٪) افزایش تبخیرترعق در سطح ۰,۰۵ معنادار است.

بحث

مطالعات متعدد از جمله طاوسی و همکاران (۱۳۹۹: ۱۷)، طاوسی و همکاران (۱۳۹۸: ۸۵)، فتحی تپه رشت و همکاران (۱۴۰۰: ۳۷) و رنجبر و طباطبایی (۱۴۰۱: ۱۲)، (Rahimi et al., 2013: 409)، (Ashraf et al, 2014: 35)، نشان می‌دهند که نواحی اقلیمی ایران به تبعیت از تغییرات رخ داده در متغیرهای تاثیرگذار مانند بارش و دما در طی حدود بیش از نیم قرن دچار تغییر شده‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش همسو با یافته‌های فوق بوده و نشان می‌دهد که اقلیم ایران در شرایط گرمایش جهانی به سرعت در حال گذر به طبقات خشک‌تر است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تغییرات رخ داده در طبقات اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی کشور بر اساس دو روش یونپ و دومارتن و همچنین متغیرهای بارش، دما و تبخیرتعرق از نیمه قرن بیستم تاکنون برای ۴۵ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه در دو دوره نرمال غیرهمپوشان شامل دوره نرمال مرجع تعیین شده از سوی سازمان جهانی هواشناسی برای مطالعات تغییر اقلیم (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دوره نرمال اخیر (۲۰۲۲-۱۹۹۳) انجام گرفت.

بر اساس شاخص یونپ در دوره نرمال مرجع، ۹ ایستگاه دارای اقلیم مرطوب، ۴ ایستگاه نیمه مرطوب، ۱۲ ایستگاه نیمه خشک، ۱۳ ایستگاه خشک و ۴ ایستگاه بیابانی قرار دارند. در حالیکه در دوره نرمال اخیر، ۵ ایستگاه در اقلیم مرطوب، ۱ ایستگاه نیمه مرطوب، ۱۹ ایستگاه نیمه خشک، ۱۴ ایستگاه خشک و ۶ ایستگاه در شرایط بیابانی قرار دارند. مقایسه دو دوره نشان می‌دهد که اقلیم ۱۳ ایستگاه (معادل ۲۹ درصد از ایستگاهها) به شرایط اقلیمی جدید خشک‌تر تغییر یافته‌اند و مابقی ایستگاهها (۷۱ درصد) اگرچه به طبقه اقلیمی جدیدتر جابجا نشده‌اند اما نمایه اقلیمی آنها متمایل به طبقه اقلیمی خشک‌تر قرار دارند. نتایج شاخص دومارتن در دوره نرمال مرجع نشان داد که ۷ ایستگاه در شرایط اقلیمی فرا خشک، ۱۲ ایستگاه خشک بیابانی، ۱۳ ایستگاه نیمه خشک، ۶ ایستگاه مدیترانه‌ای، یک ایستگاه مرطوب و سه ایستگاه خیلی مرطوب قرار گرفته است. در دوره نرمال اخیر نشان داد که ۱۲ ایستگاه در شرایط فرا خشک، ۸ ایستگاه خشک بیابانی، ۲۰ ایستگاه نیمه خشک، ۲ ایستگاه مرطوب و ۳ ایستگاه خیلی مرطوب قرار دارند. بررسی تغییرات دو دوره نشان می‌دهد که ۱۴ ایستگاه (۳۱ درصد) به شرایط اقلیمی جدید خشک‌تر تغییر یافته‌اند و مابقی ایستگاهها (معادل ۶۹ درصد) گرایش به شرایط اقلیمی خشک‌تر قرار دارند. نتایج آزمون معناداری تغییرات و شیب سن هر یک از ایستگاههای مورد مطالعه برای بارش، دما و تبخیرتعرق نشان داد که در بیش از سه چهارم ایستگاهها افزایش دما و تبخیرتعرق و در حدود یک سوم ایستگاهها کاهش بارش معنادار است. همچنین بیشترین شیب کاهش بارش سالانه در ایستگاه گرگان به مقدار ۳,۷- م.م. ، بیشترین شیب افزایش دما در ایستگاه مشهد با ۰,۷۳ درجه سلسیوس بر سال و بیشترین افزایش تبخیرتعرق در ایستگاه اهواز با ۲۵,۸۹ م.م. بر سال است.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که اقلیم ایران در شرایط گرمایش جهانی به سرعت در حال تغییر به طبقات اقلیمی خشک‌تر است و در تعداد قابل توجهی از ایستگاهها خشکسالی را دیگر نمی‌توان به عنوان یک اختلال موقتی در آنها تلقی کرد بلکه به حالت نرمال و دائمی اقلیم آنها تبدیل شده است. برای بهبود مطالعات در این حوزه پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده با استفاده از داده‌های با تراکم مکانی بیشتر مانند داده‌های شبکه‌ای (از قبیل ERA5-land، CRU و . . .)، با بکارگیری روش‌های مختلف برآورد شاخص خشکی و تبخیرتعرق پتانسیل و همچنین مطالعه دگرگونی‌های رخ داده در اقلیم زراعی مناطق مختلف کشور با هدف افزایش امنیت غذایی انجام شود.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهام نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

از سازمان هواشناسی کشور برای در اختیار قرار دادن داده‌های ماهانه دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی کشور قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

- اکبری ازیرانی، طیبه. (۱۴۰۱). آشکارسازی و تحلیل روند خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان در ارتباط با شاخص‌های جوی- اقیانوسی. نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۳(۱۱)، ۱-۱۶. DOI: 10.30488/CCR.2022.359615.1091
- الله‌وردی پور، پویا؛ قربانی، محمد علی و اسدی، اسماعیل. (۲۰۲۳). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر طبقه‌بندی اقلیمی ایران. مدل سازی و مدیریت آب و خاک.
- بختیاری، بهرام؛ مهدوی، نکیسا و سیاری، نسرين. (۱۴۰۰). تحلیل حساسیت و بررسی تغییرات شاخص خشکی (AI) در چند نمونه اقلیمی ایران. تحقیقات منابع آب/ایران، ۱۷(۱)، ۱-۱۵. DOI: 20.1001.1.17352347.1400.17.1.1.2
- خلیلی، علی؛ بذرافشان، جواد و چراغعلی‌زاده، مجید. (۲۰۲۲). بررسی تطبیقی نقشه‌های اقلیمی ایران در طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده و کاربست روش برای پهنه‌بندی اقلیم جهان. هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۱)، ۳-۱۶. DOI: 10.22125/AGMJ.2022.156309
- رنجبر، فیروز و طباطبایی، حسن. (۲۰۲۲). بررسی روند شاخص خشکی در ایستگاه‌های نوار شمالی ایران طی دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۹. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۹(۳)، ۱۲-۲۴. DOI: 10.30488/CCR.2022.327870.1070
- طلووسی، تقی؛ شجاع، فائزه و عسگری، الهه. (۱۳۹۸). بازنگری پهنه‌های اقلیمی شمال شرق ایران بر پایه کاربرد تلفیقی تغییر شاخص خشکی. مدیریت بیابان، ۷(۱۳)، ۱۳۴-۱۱۷. DOI: 10.22034/JDMAL.2019.36538
- طلووسی، تقی. (۱۳۹۷). بررسی روند تغییرات بارندگی و شاخص خشکی یونپ در پهنه‌های آب و هوایی غرب و شمال غرب ایران. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۷(۱۰۵)، ۸۵-۹۶. DOI: 10.22131/sepehr.2018.31475
- طلووسی، تقی؛ خواجه امیری خالدی، چکاوک و سالاری فنودی، محمد رضا. (۱۳۹۹). بازنگری طبقه‌بندی اقلیمی کشور ایران بر پایه متغیرهای اقلیمی. مدیریت بیابان، ۸(۱۶)، ۳۶-۱۷. DOI: 10.22034/JDMAL.20210243138
- عیشی رضایی، احسان؛ یزدانی بیوکی، رستم و بنایان اول، محمد. (۱۳۹۲). بررسی و تعیین آستانه و طول فصل بارانی برای مکان‌های مختلف شمال شرقی ایران (استان خراسان). آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۶)، ۱۱۸۹-۱۱۷۶. DOI: 10.22067/JSW.V0I0.20946

- غلام پور شمایی، یوسف؛ مجنون حسینی، ناصر؛ بذرافشان، جواد؛ شریف زاده، فرزاد و کانونی، همایون. (۲۰۲۰). ارزیابی بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع در شرایط اقلیم فعلی و تغییر اقلیم آینده تحت پروژه CORDEX در نواحی عمده تولید محصولات دیم استان کردستان. *آب و خاک ایران*، ۵۰(۱۰)، ۲۵۸۳-۲۵۹۴. DOI: 10.22059/IJSWR.2019.285043.668255
- عباسی، فاطمه؛ کوهی، منصوره؛ فلامرزی، یاشار؛ جوانشیری، زهره؛ ملبوسی، شراره و بابائیان، ایمان. (۲۰۱۹). تحلیل روند میانگین دما و بارش سالانه در ایران برای دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ میلادی. *نیوار*، ۴۳(۱۰۷)، ۳۶-۴۹. DOI: 10.30467/NIVAR.2019.184059.1128
- فتحی تپه رشت، امین؛ شفیع زاده مقدم، حسین و کوچک زاده، مهدی. (۲۰۲۲). تحلیل فضایی-زمانی طبقه بندی اقلیمی ایران بر اساس روش دومارتن و آزمون من-کندال در دوره آماری ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸. *فصلنامه علوم محیطی*، ۳(۲۰)، ۱۳۷-۱۵۴. DOI: 10.52547/envs.2021.1105.
- Abbasi, F., Kohi, M., Flamarzi, Y., Javanshiri, Z., Malboosi, Sh., & Babaian, Iman. (2019). Analysis of the trend of average temperature and annual precipitation in Iran for the period from 1988 to 2017. *Newar*, 43(107), 36-49. DOI: 10.30467/NIVAR.2019.184059.1128. [In Persian].
- Abolverdi, J., Ferdosifar, G., Khalili, D., Kamgar-Haghighi, A. A., & Abdolahipour Haghighi, M. (2014). Recent trends in regional air temperature and precipitation and links to global climate change in the Maharlo watershed, Southwestern Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 126, 177-192. DOI: 10.1007/s00703-014-0341-5.
- Akbari Azirani, T., Yahyavi Dizaj, A., & Keykhosravi, G. (2023). The trend analysis of dust phenomenon changes in the western region of Iran during 1979-2018. *Journal of Climate Research*, 1402(53), 147-162. [In Persian].
- Allah Virdipour, P., Ghorbani, M. A. & Asadi, I. (2023). Investigating the effects of climate change on the climatic classification of Iran. *Modeling and management of water and soil*.
- Alizadeh, A. (2014). Principles of applied hydrology. Mashhad: Quds Razavi Province. [In Persian].
- Bakhtiari, B; Mahdavi, N., & Sayari, N. (1400). Analysis of sensitivity and changes of aridity index (AI) in some climatic samples of Iran. *Iran Water Resources Research*, 17(1), 1-15. DOI: 20.1001.1.17352347.1400.17.1.1.2.
- Alizadeh-Choobari, O., & Najafi, M. S. (2018). Extreme weather events in Iran under a changing climate. *Climate Dynamics*, 50(1-2), 249-260. DOI: 10.1007/s00382-017-3602-4.
- Ashraf, B., Yazdani, R., Mousavi-Baygi, M., & Bannayan, M. (2014). Investigation of temporal and spatial climate variability and aridity of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 118, 35-46. DOI: 10.1007/s00704-013-1040-8.
- Aydin, M. (1995, December). Water key ingredient in Turkish farming. In *Forum for Applied Research and Public Policy* (Vol. 10, No. 4).
- Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Lotfabadi, S. S., & Mohamadian, A. (2010). Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field crops research*, 118(2), 105-114. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.04.011. [In Persian].
- Bannayan, M., & Sanjani, S. (2011). Weather conditions associated with irrigated crops in an arid and semi arid environment. *Agricultural and forest meteorology*, 151(12), 1589-1598. DOI: [10.1016/j.agrformet.2011.06.015](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.06.015).
- Bakhtiari, B., Mahdavi, N., & Sayari, N. (2021). Variations and sensitivity analysis on Aridity Index (AI) in some climate samples in Iran. *Iran-Water Resources Research*, 17(1), 1-15. DOI: 20.1001.1.17352347.1400.17.1.1.2. [In Persian].
- Dastorani, M. T., & Poormohammadi, S. (2016). Mapping of climatic parameters under climate change impacts in Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 61(14), 2552-2566. DOI: [10.1080/02626667.2015.1131898](https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1131898).

- Ebi, K. L., Vanos, J., Baldwin, J. W., Bell, J. E., Hondula, D. M., Errett, N. A., ... & Berry, P. (2021). Extreme weather and climate change: population health and health system implications. *Annual review of public health*, 42(1), 293-315. DOI: 10.1146/annurev-publhealth-012420-105026.
- Eshe Rezaei, E., Yazdani Beyuki, R., & Banayan Aval, M. (2012). Investigating and determining the threshold and length of the rainy season for different regions of northeastern Iran (Khorasan province). *Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 27(6), 1176-1189. DOI: 10.22067/JSW.V0I0.20946. [In Persian].
- Fathi Tapeh Rasht, A., Shafizadeh Moghadam, H., & Kochakzadeh, M. (2022). Spatial-temporal analysis of Iran's climate classification based on the DuMartin method and the Mann-Kendall test in the statistical period from 1374 to 1398. *Environmental Sciences Quarterly*, 3(20), 137-154. DOI: 10.52547/envs.2021.1105. [In Persian].
- Ghiami-Shamami, F., Sabziparvar, A. A., & Shinoda, S. (2019). Long-term comparison of the climate extremes variability in different climate types located in coastal and inland regions of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 136, 875-897. DOI: 10.1007/s00704-018-2523-4.
- Gholampour Shamami, Y., Majnoon Hosseini, N., Bazrafshan, J., Sharifzadeh, F., & Kanoni, H. (2020). Evaluation of the potential of precipitation and evaporation and transpiration of the reference plant in the current climate conditions and future climate changes under the CORDEX project in the main areas of rainfed production in Kurdistan province. *Water and soil of Iran*, 50(10), 2583-2594. DOI: 10.22059/IJSWR.2019.285043.668255. [In Persian].
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & van Ypserle, J. P. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151). Ipc. DOI: 10013/epic.45156.d001.
- Kendall, M.G., 1970, Rank Correlation Methods, 2nd Ed., New York: Hafner. occurrence in west of Iran. *Environmental Science*, No. 2, pp. 375-388.
- Khalili, A., Bazarafshan, J., & Chiragalizadeh, M. (2022). A comparative study of Iran's climate maps in Demartin's developed classification and the application of the method for world climate zoning. *Agricultural Meteorology*, 10(1), 3-16. DOI:10.22125/AGMJ.2022.156309. [In Persian].
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259. DOI:10.2307/1907187.
- Mansouri Daneshvar, M. R., Ebrahimi, M., & Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*, 8(1), 1-10. DOI:10.1186/s40068-019-0135-3.
- Mohamadyariyan, M., Tavousi, T., & Hamidiyanpour, M. (2019). Zoning of iranian heavy precipitation regime. *Geographical Researches*, 34(2), 183-192. DOI: 10.29252/geores.34.2.183. [In Persian].
- Nazemosadat, M. J., & Cordery, I. (2000). On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(1), 47-61. DOI:10.1002/(SICI)1097-0088(200001)20:1<47::AID-JOC461>3.0.CO;2-P.
- Nazemosadat, M. J., & Cordery, I. (2000). The impact of ENSO on winter rainfall in Iran. In *Hydro 2000: Interactive Hydrology; Proceedings* (pp. 538-543). Barton, ACT: Institution of Engineers, Australia. DOI:10.3316/informit.295644650377746.
- Rahimi, J., Ebrahimpour, M., & Khalili, A. (2013). Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and applied climatology*, 112, 409-418. DOI:10.1007/s00704-012-0741-8.
- Rahimi, J., Laux, P., & Khalili, A. (2020). Assessment of climate change over Iran: CMIP5 results and their presentation in terms of Köppen–Geiger climate zones. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 183-199. DOI:10.1007/s00704-020-03190-8.

- Rahimi, J., Malekian, A. & Khalili, A. 2019. Climate change impacts in Iran: assessing our current knowledge. *Theor Appl Climatol* 135, 545–564. DOI:10.1007/s00704-018-2395.
- Ranjber, F., & Tabatabai, H. (2022). Investigating the trend of drought index in the stations of the northern strip of Iran during the period of 1361 to 1398. *Climate Change Research*, 9(3), 12-24. DOI: 10.30488/CCR.2022.327870.1070. [In Persian].
- Raziei, T. (2017). Koppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes During 20th Century.
- Sen, P. K. (1968). Asymptotically efficient tests by the method of n rankings. *J. Roy. Statist. Soc. Ser. B*. 30.
- Tavosi, T., Khajeh Amiri Khalidi, Ch., & Salari Fanodi, M. (2021). Revision of the climatic classification of Iran based on climatic variables. *Desert Management*, 8(16), 17-36. DOI: 10.22034/JDMAL.20210243138. [In Persian].
- Tavousi, T. Mahmoudi, P. and Sargolzai Moghaddam, F. (2010). Study of Spatial Spreading Trend of Arid and Semi-Arid Climates in Iran, *Range and Desert Research*, 17 (1), 94-105. [In Persian].
- Tavousi, T., Shoja, F. & Asgari, E. (2019). Amendment of Climate Zones of the Northeastern Iran Based On a Combination of Changes in Aridity Index, *Desert Management*, 7 (13), 117-134. [In Persian].
- Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. *Indagationes mathematicae*, 12(85), 173.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94. Taylor & Francis, Ltd.

Observed changes in the climate zones of Iran from mid 20th century onwards (1961-2022)

Marjan Shahsavan Ghareghouni, M. A. student of Climate Change, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
marjan.shahsavanghareghoni@mail.um.ac.ir

*Reza Doostan, Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities,
Ferdowsi University of Mashhad, Iran
doostan@um.ac.ir

Iman Babaeian, Associate Professor, Climate Modeling and Early Warning research group, Climate Research Institute, Research Center for Meteorology and Atmospheric Science, Mashhad, Iran
i.babaeian@gmail.com

Revived	Accept
---------	--------

Extended abstract

Introduction

Climate change is one of the most significant challenges that affect various aspects of human life and the environment. It directly or indirectly impacts human activities and alters the composition of the atmosphere. Consequently, natural and recurring phenomena such as drought occur within specific

time periods. Arid and semi-arid regions cover approximately 40% of the world, primarily situated in developing countries. Iran's climate exhibits significant variability in both time and location, with its annual rainfall coefficient experiencing more than a 70% change. Despite previous research on Iran's climate classification, few studies have comprehensively identified the shifts in Iran's climate zones. This research evaluates the influence of climate change on precipitation, temperature, and evapotranspiration. It also examines Iran's climatic classification based on the UNEP and Demartin climate classification systems. Furthermore, it investigates the changes in Iran's climatic zones during the recent normal period (1993-2022) compared to the standard reference period determined by the World Meteorological Organization (1961-1990).

Materials and methods

The research focuses on Iran, a region with diverse climatic conditions ranging from very dry to very humid. Temperature and precipitation data from 45 stations with various climates were collected on a monthly basis starting around 1961. The main aim of study is estimation of climatic zones for the periods of 1961-1990 (considered as the normal reference standard period by the World Meteorological Organization for Climate Change Studies) and the recent normal period of 1993-2022 using UNEP and Demartonne climate classification indices. Mann-Kendall's and Sen's slope tests were employed to assess the trend of changes and their slopes. Additionally, potential evapotranspiration was calculated based on the Torrent-White method.

Results and discussion

This research investigates the changes in precipitation, temperature, evapotranspiration, and shifts in the climatic classification of meteorological stations across the country since the mid-20th century using two classification methods of UNEP and Demartonne. The study covers 45 synoptic stations and examines different normal periods, including the reference normal period of 1961-1990 recognized by the World Meteorological Organization for climate change studies and the recent normal period of 1993-2022. Results from the UNEP climate classification for 1961-1990 estimate 9 stations with humid climate, 4 semi-humid stations, 12 semi-arid stations, 13 dry stations, and 4 desert stations. In contrast, for 1993-2022, there are 5 humid climate class stations, 1 semi-humid station, 19 semi-arid stations, 14 dry stations, and 6 desert stations. Comparing the two periods reveals approximately 13 stations have shifted to drier conditions and around 29 stations experiencing increased aridity. Demartonne's climate classification results for 1961-1990 show 7 hyper-arid stations, 12 dry desert stations, 13 semi-arid stations, and 6 Mediterranean climate stations. Additionally, one station is classified as humid and three as very humid. For the period of 1993-2022, there are 12 hyper-arid stations, 8 dry desert stations, 20 semi-arid stations, 2 humid stations, and 3 dry climate stations. Analysis of these periods indicates about 14 stations with tendency of its climate towards drier climates and 28 transitioning to increased aridity. Significance tests on changes and Sen's slope analysis for precipitation, temperature, and evapotranspiration reveal temperature and evapotranspiration increases in over 75% of the stations under study. Approximately one third of the stations has experienced a significant decrease in precipitation. The highest annual precipitation decrease is estimated for Gorgan station and Mashhad station shows the highest temperature increase, while Ahvaz station exhibits the highest evapotranspiration increase. The research findings suggest that Iran's climate is rapidly shifting towards drier conditions due to global warming.

Conclusion

The research findings indicate significant changes in climatic classification of Iran based on the UNEP and Demartonne indices. According to the UNEP index, the number of stations with a humid climate decreased from 9 to 5 from the reference normal period of 1961-1990 to the most recent normal period of 1993-2022. Conversely, the number of semi-arid and dry stations increased from 25

to 33, and desert stations increased from 4 to 6, while the number of semi-humid stations decreased from 4 to 1. Regarding the Demarctonne index, the number of stations with a semi-arid to hyper-arid climate increased from 32 to 40 during the reference normal period (1961-1990) up to the most recent normal period (1993-2022). Additionally, the number of stations with semi and very humid climates decreased from 10 to 5, and stations with a Mediterranean climate reduced. The Mann-Kendall statistics and Sens slope analysis revealed that precipitation decreased in 14 stations (31%), while temperature and evapotranspiration increased at a significant level of 0.05 in 35 stations (77.78%) and 34 stations (75.56%), respectively. These results align with previous studies by Rahimi et al. (2013), Ashraf et al. (2014), Tawusi et al. (2019), Tawusi et al. (2021), Fathi Tepe Rasht et al. (2022), and Ranjber and Tabatabai (2022), indicating a rapid shift towards drier climates in Iran due to global warming.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.