

بررسی روند تغییرات سالانه پارامترهای هواشناسی در دو اقلیم سرد و گرم ایران

حسین طبری^۱، علی اکبر سبزی پرور^۱ و صفر معروفی^۱

چکیده

در طی دهه‌های اخیر، تغییر جهانی اقلیم یکی از موضوع‌های مهم تحقیقاتی در مطالعات کره زمین بوده و پیامد-های آن در پژوهش‌های بی‌شماری منعکس گردیده است. در این پژوهش، داده‌های هواشناسی به‌منظور تعیین روندهای درازمدت دما، بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد و تبخیر-تعرق گیاه مرجع طی دوره ۴۰ ساله ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۴ در دو اقلیم سرد و گرم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای بررسی وجود روند، از آزمون من-کندال استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد که داده‌های بارش و سرعت باد به ترتیب دارای بیش‌ترین نوسان‌ها نسبت به میانگین بوده‌اند. در حالی که کم‌ترین نوسان‌ها در داده‌های دما مشاهده شد. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که اغلب پارامترهای مورد بررسی دارای تغییرات معنی‌دار در هر دو اقلیم مورد مطالعه می‌باشند، به‌طوری‌که پارامتر دمای هوا و تبخیر-تعرق گیاه مرجع روند افزایشی معنی‌دار و پارامترهای بارندگی و رطوبت نسبی روند کاهشی معنی‌دار از خود نشان دادند. سری‌های زمانی سرعت باد در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند کاهشی معنی‌داری بودند. نتایج پژوهش می‌تواند در بخش‌های مختلف از جمله مدیریت دراز مدت منابع آب و پیش‌بینی نیاز آبی گیاهان در اقلیم‌های مشابه به کار رود.

کلمات کلیدی: روند، دما-باد-رطوبت نسبی، تبخیر-تعرق مرجع، آزمون من-کندال، اقلیم سرد و گرم

۱. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی و دانشیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

مقدمه

گرم شدن کره زمین که بر اثر فعالیت‌های بشر و وقوع تغییرات طبیعی اقلیم^۱ رخ داده است، یکی از مسائل مهمی است که امروزه توجه بسیاری از کارشناسان و دانشمندان علوم مختلف را به خود جلب نموده است. بر اساس چهارمین گزارش^۲ IPCC (۲۰۰۷) بر مبنای سناریوهای جدید، تا سال ۲۰۹۰ غلظت دی اکسیدکربن (CO₂) به حدود دو برابر میزان کنونی خواهد رسید. در نتیجه این تغییر، دمای کره زمین تا سال ۲۰۹۰ به مقدار ۲ الی ۶/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت که این افزایش دما و تغییر اقلیم می‌تواند اثرات زیان‌باری بر چرخه هیدرولوژیکی و منابع آب داشته باشد.

یکی از روش‌های متداول جهت تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی، بررسی وجود یا عدم وجود روند^۳ در آن‌ها در نتیجه تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی می‌باشد (حجام و همکاران، ۱۳۸۷). در سال‌های اخیر، تاثیرات تغییر اقلیم بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی و منابع آب بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۱؛ گلیک، ۱۹۸۶؛ برن، ۱۹۹۴)، همچنین مطالعات بسیاری در زمینه تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی به‌خصوص بارش و دما صورت گرفته است. نتایج پژوهش کاویانی و عساکره (۱۳۸۰) روند افزایشی دما را در ایستگاه جاسک در دوره آماری ۱۹۹۶-۱۹۸۳ نشان می‌دهد. قائمی و عساکره (۱۳۸۲) طی پژوهشی نشان دادند که دمای مشهد در ۱۰۶ سال گذشته افزایش یافته است. ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۴) برای بررسی تغییرات دما در مشهد از روش رگرسیونی و آزمون‌های لتن مایر و من-کندال استفاده نمودند. با روش رگرسیونی در تمامی ایستگاه‌ها روند صعودی به-دست آمد. نتایج حاصل از مدل‌های من-کندال و لتن مایر حاکی از افزایش دما در بیشتر ماه‌ها در منطقه مزبور می‌باشد. محمدی و تقوی (۱۳۸۴) روند شاخص-های حدی بر اساس سری‌های زمانی روزانه دما و بارش

را در ایستگاه تهران در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۱ بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند دمای حداقل و دمای متوسط روزانه افزایشی است، اما روند افزایشی دمای حداکثر شیب کمتری دارد. نتایج پژوهش علیجانی و قویدل رحیمی (۱۳۸۰) در ایستگاه تبریز نشان‌دهنده افزایش متوسط دمای سالانه در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۱ می‌باشد. ناظم‌السادات و همکاران (۱۳۸۴) روند تغییرات سری‌های زمانی بارش در جنوب و جنوب-غرب کشور را طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۹ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و نتیجه گرفتند که بارش سالانه بعد از سال ۱۹۷۵ در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقایسه با قبل از این سال افزایش یافته است. عسگری و همکاران (۱۳۸۶) مقادیر حدی بارش را در ۲۷ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که هر سه حالت ایستا، مثبت و منفی در نمایه‌های بارش در سطح کشور مشاهده شده است. مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از کاهش ۵/۸ درصدی جریان و افزایش ضریب تغییرات جریان تا ۳ برابر برای دوره‌های آتی می‌باشد. رضیئی و دانش‌کار آراسته (۱۳۸۴) روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکز و شرق ایران را با استفاده از داده‌های ۷۹ ایستگاه اقلیم‌شناسی و سینوپتیک سازمان هواشناسی در دوره آماری ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۰ میلادی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که شواهدی از بروز تغییرات اقلیمی در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد. اگرچه در برخی از ایستگاه‌ها، روند بارندگی سالانه منفی و نشان‌دهنده روند کاهشی بارش در سال‌های اخیر بوده اما در بیشتر ایستگاه‌ها، روند مزبور معنی‌دار نبوده است. قهرمان و تقواییان (۱۳۸۶) وجود روند در بارندگی سالانه ایران را با استفاده از آزمون شیب خط رگرسیون در ۳۰ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری برابر یا کمتر از ۵۰ سال (منتهی به سال ۲۰۰۰) مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد با در نظر گرفتن کل طول دوره آماری در سطح ۰/۹۵، هفت ایستگاه روند منفی و شش ایستگاه روند

1. Climate change
2. Intergovernmental Panel on Climate Change
3. Trend

با افزایش دمای هوا بسیار مرتبط می‌باشد. راثو و الوگدانی (۱۹۹۵) با استفاده از مدل موازنه آب، تاثیرات تغییرات بارش و دمای هوا را بر روی رواناب بررسی نمودند. هرینگتون (۱۹۹۶) تاثیرات تغییر اقلیم را بر تقاضای آب در انگلستان و ولز مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که افزایش یک درصدی دما می‌تواند باعث افزایش ۱۲ درصدی در تقاضای آب در بخش کشاورزی گردد. مانسل (۱۹۹۷) تاثیرات تغییر اقلیم بر روند بارش و خطر سیلاب در قسمت غربی اسکاتلند را مطالعه نمود. پائو-شان و همکاران (۲۰۰۲) تاثیر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که تبخیر-تعرق در ۴۰ سال گذشته افزایش یافته است. ناظم السادات و همکاران (۲۰۰۶) داده‌های بارش را در دوره زمانی ۱۹۹۹-۱۹۵۱ در دو منطقه شمال و جنوب غربی کشور مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از آن است که در بیشتر ایستگاه‌ها به‌خصوص برای مناطق جنوب‌غربی، میانگین بارش در دوران بعد از سال ۱۹۷۵ افزایش قابل ملاحظه‌ای نسبت به مقادیر مشابه برای دوران قبل از این سال داشته است. وانگ و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات تبخیر از تشت و تبخیر-تعرق گیاه مرجع را در حوضه رودخانه یانگ تسه در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد تبخیر از تشت و تبخیر-تعرق گیاه مرجع در این دوره دارای روند کاهشی بوده است و این روند کاهشی را به کاهش تابش خالص خورشیدی و سرعت باد مرتبط دانستند.

بیش از ۹۰ درصد منابع آب در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تغییرات در رژیم اقلیمی ممکن است بر تقاضای آب کشاورزی تاثیر بگذارد. از طرفی تبخیر-تعرق احتمالاً به‌دلیل تغییرات متغیرهای هواشناسی (دما، رطوبت نسبی و دیگر پارامترها) تغییر می‌یابد. در ایران پژوهش‌های معدودی جهت آشکار سازی روند تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع صورت گرفته است. از این رو، این پژوهش به‌منظور آشکار سازی روند تغییرات سالانه تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از آزمون من-کندال^۱ در دو اقلیم متفاوت سرد نیمه‌خشک

مثبت داشتند. با تغییر طول دوره آماری به آخرین ۴۰ سال، در سطح ۹۵٪، هشت ایستگاه روند مثبت و چهار ایستگاه روند منفی داشتند. با کاهش طول دوره آماری به آخرین ۳۰ سال، در ایستگاه‌های کمتری روند مشاهده شد. نیک قوجق و یارمحمدی (۱۳۸۷) اثرات تغییر اقلیم بر دبی رودخانه زیارت در استان گلستان را مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که متوسط دبی سالانه رودخانه مزبور طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۴ کاهش یافته است. مریانجی و همکاران (۱۳۸۷) روند تغییرات پارامترهای هواشناسی شامل حداقل، حداکثر و میانگین دمای هوا و بارندگی سالانه و همچنین دبی سالانه رودخانه یلفان همدان را با استفاده از آزمون من-کندال مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که داده‌های حداقل، حداکثر و میانگین دما دارای روند معنی‌دار افزایشی است. درحالی‌که در داده‌های سالانه بارندگی و دبی روند معنی‌داری مشاهده نشده است. عزیزی و روشنی (۱۳۸۷) روند تغییرات پارامترهای اقلیمی را در ایستگاه‌های بندرانزلی، رشت، رامسر، بابلسر و گرگان بین سال‌های ۱۹۵۵ تا ۱۹۹۴ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها دمای حداقل دارای روند مثبت و دمای حداکثر دارای روند منفی می‌باشد. همچنین درصد تغییر دما در فصل زمستان و تابستان نسبت به بهار و پاییز بیشتر و زمان شروع تغییرات در ایستگاه‌های منطقه یکسان نیست. دعایی (۱۳۸۷) تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع را در ۱۶ ایستگاه هواشناسی با اقلیم گرم و خشک و سرد و خشک و طول دوره آماری بیش از ۲۵ سال تا سال ۲۱۰۰ میلادی تحت سناریوهای متفاوت IPCC پیش‌بینی نمود. نتایج پژوهش وی نشان داد که تا سال ۲۱۰۰ میلادی با افزایش ۳ درجه سانتی‌گراد در میانگین دمای هوای شهرهای مورد مطالعه، تبخیر-تعرق گیاه مرجع در طول دوره رشد به‌طور متوسط ۴/۵ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج وی حاکی از آن است که با همین مقدار افزایش دما و تغییر تابش خالص به مقدار ± 10 درصد، افزایش تبخیر-تعرق گیاه مرجع به‌طور متوسط به ۱۳/۵ و ۶ درصد خواهد رسید. پژوهش‌های مکابی و وولوک (۱۹۹۲) نشان داد که افزایش تقاضای آب آبیاری

1. Mann-Kendall test

مواد و روش‌ها

داده‌های به کار رفته

در پژوهش حاضر، برای بررسی روند تغییرات سالانه تبخیرتعرق گیاه مرجع و همچنین پارامترهای هواشناسی در دو اقلیم متفاوت از داده‌های دو ایستگاه سینوپتیک تبریز و ارومیه به عنوان اقلیم سرد نیمه-خشک، و ایستگاه‌های یزد و زاهدان به عنوان اقلیم گرم و خشک استفاده گردید. مشخصات جغرافیایی این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

(تبریز و ارومیه) و گرم و خشک کشور (یزد و زاهدان) در دوره آماری ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۴ انجام شده است. همچنین با استفاده از این آزمون، روند تغییرات سالانه برخی پارامترهای موثر هواشناسی (دمای هوا، بارندگی، رطوبت نسبی و سرعت باد) بر تبخیرتعرق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	نوع اقلیم
تبریز	۴۶° ۱۷'	۳۸° ۰۵'	۱۳۶۱	سرد نیمه‌خشک
ارومیه	۴۵° ۰۵'	۳۷° ۳۲'	۱۳۱۶	سرد نیمه‌خشک
یزد	۵۴° ۱۷'	۳۱° ۵۴'	۱۲۳۷	گرم و خشک
زاهدان	۶۰° ۵۳'	۲۹° ۲۸'	۱۳۷۰	گرم و خشک

در این معادله، ET_0 مقدار تبخیرتعرق روزانه گیاه مرجع (میلی‌متر در روز)، T_a دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، R_n شار تابش خالص خورشیدی (مگاژول بر مترمربع در روز)، $(e_s - e_a)$ کمبود فشار بخار اشباع هوا (کیلوپاسکال)، G شار حرارتی خاک (مگاژول بر مترمربع در روز)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دما (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) و γ ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) می‌باشند (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). ضمناً برای محاسبه تبخیرتعرق گیاه مرجع با روش مذکور، از نرم‌افزار Ref-ET (آلن، ۲۰۰۳) استفاده گردیده است.

آزمون من-کندال

آزمون غیرپارامتری من-کندال ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۴۸ میلادی توسعه یافت. در این پژوهش، آزمون فوق به منظور تشخیص هر گونه روند احتمالی در سری آماری دما، بارندگی، رطوبت نسبی، سرعت باد، تبخیرتعرق گیاه

در این پژوهش، میانگین داده‌های دمای حداکثر روزانه هوا (T_{max})، دمای حداقل روزانه هوا (T_{min})، دمای هوای روزانه (T)، دمای نقطه شبنم (T_{dew})، رطوبت نسبی حداکثر (RH_{max})، رطوبت نسبی حداقل (RH_{min})، رطوبت نسبی متوسط (RH)، فشار بخار آب (e_a)، سرعت باد (U)، بارش (P) و ساعات آفتابی (n) در دوره اقلیمی چهل ساله ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۴ مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که قبل از انجام هرگونه محاسبه، صحت و همگنی داده‌ها توسط آزمون همگنی یاران تست^۱ مورد بررسی قرار گرفت.

مدل پنمن-مانتیث فائو^۲ (PMF-56)

در تحقیق حاضر، مدل PMF-56 به عنوان روش استاندارد برآورد تبخیرتعرق گیاه مرجع (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) به کار گرفته شد (معادله ۱).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

1. Run test

2. Penman-Monteith FAO 56 (PMF-56)

در این آزمون اگر $U(t)$ و $U'(t)$ همدیگر را قطع نمایند و زمانی که $|U|$ از ۱/۹۶ بزرگتر شود حاکی از آن است که سری زمانی ما دارای روند معنی دار در سطح ۵ درصد می باشد. روند معنی داری در سطح ۱ درصد را نیز می توان مورد بررسی قرار داد که در این صورت $|U|$ باید بزرگتر ۲/۵۸ باشد. در این تحقیق سطح معنی داری در سطح ۵ درصد بررسی شده است. در تحقیق حاضر، به منظور دستیابی به سری های زمانی فوق الذکر، مقادیر متوالی $u(t)$ و $\hat{u}(t)$ توسط آزمون من-کنندال جهت بررسی وجود روند متغیرهای مورد مطالعه مورد مقایسه قرار گرفتند که نتایج مربوطه در بخش بعدی مورد بحث قرار می گیرد.

نتایج و بحث

در شکل های ۱ تا ۵، تغییرات سالانه دمای هوا، بارندگی، رطوبت نسبی، سرعت باد و تبخیر-تعرق گیاه مرجع در دوره آماری ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۴ در دو اقلیم مورد مطالعه ارائه شده است. همان طور که در نمودارهای شکل ۱ ملاحظه می گردد، تغییرات ناگهانی دمای هوا نسبت به میانگین و یا به عبارت دیگر نوسان های دما در برخی از ایستگاه های مورد مطالعه قابل ملاحظه می باشد. در ایستگاه زاهدان و یزد به ترتیب کمترین و بیشترین نوسان در دمای هوا در دوره آماری مورد مطالعه دیده می شود. بر اساس شکل ۲ نوسانات بارش نسبت به دما بیشتر می باشد و بیشترین نوسان در یزد و کمترین آن در تبریز مشاهده می گردد. همچنین، تغییرات ناگهانی رطوبت نسبی در اقلیم گرم و خشک بیشتر از اقلیم سرد نیمه خشک می باشد (شکل ۳).

همان طور که ملاحظه می شود (شکل ۴) نوسانات سرعت باد در همه ایستگاه های مورد مطالعه، زیاد می باشد ولی بیشترین تغییرات در یزد مشاهده می شود. حداکثر تغییرات ناگهانی تبخیر-تعرق گیاه مرجع طبق شکل ۵ در ایستگاه یزد مشاهده می گردد. به طور کلی از بین پارامترهای مورد بررسی، بیشترین نوسان ها به ترتیب به بارش و سرعت باد و کمترین آن به دما اختصاص یافته است.

مرجع به کار برده شد. در این آزمون، آماره $u(t)$ مقداری است که جهت و بزرگی روند را مشخص می نماید. در صورتی که مقدار $u(t)$ در سطح ۵٪ معنی دار باشد، می توان نوع روند کاهشی ($u(t) < 0$) یا افزایشی ($u(t) > 0$) را نتیجه گیری نمود. در مواردی نیز ممکن است مقدار ۱٪ به عنوان سطح معنی داری در نظر گرفته شود. روندهای جزئی (کوتاه مدت)، تغییر موقعیت یا نقطه شروع روند در سری ها نیز بوسیله نمودارهای سری های زمانی مقادیر $u(t)$ و $\hat{u}(t)$ مورد بررسی قرار می گیرد. بر اساس مطالعات اسنیرس و همکاران (۱۹۹۰) جهت انجام آزمون من-کنندال مراحل زیر باید صورت گیرد:

ابتدا داده های مشاهده شده اولیه با رتبه y_i که دارای روند افزایشی است، مرتب می شوند. سپس برای هر مرتبه از y_i ، تعداد مواردی که قبل از آن ($i > j$) می باشند، محاسبه می گردد ($y_i > y_j$). در مرحله آخر، آماره آزمون از طریق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$t_i = \sum_{k=1}^i n_k \quad (2)$$

تابع توزیع آماره t_i دارای مقادیر متوسط (E) و واریانس (Var) می باشد که به صورت زیر محاسبه می شوند (میرانجی و همکاران، ۱۳۸۷):

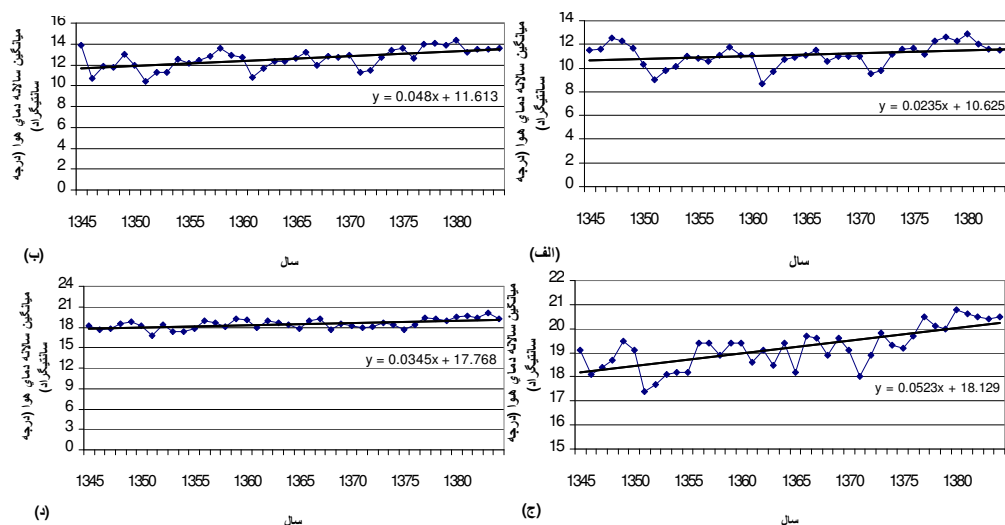
$$E(t_i) = i(i-1)/4 \quad (3)$$

$$Var(t_i) = [i(i-1)(2i+5)]/72 \quad (4)$$

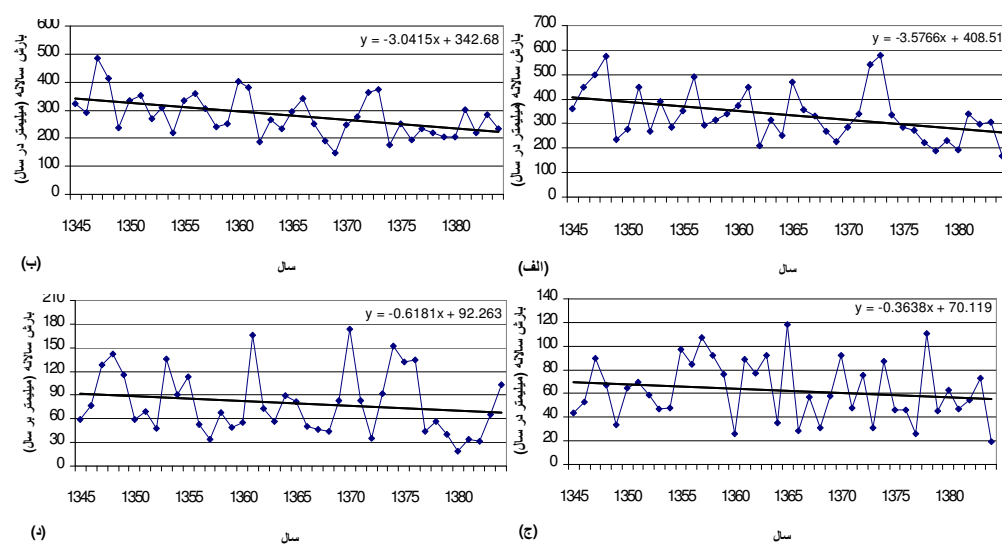
همچنین مقدار آماره $u(t_i)$ بوسیله رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$u(t_i) = [t_i - E(t_i)] / \sqrt{Var(t_i)} \quad (5)$$

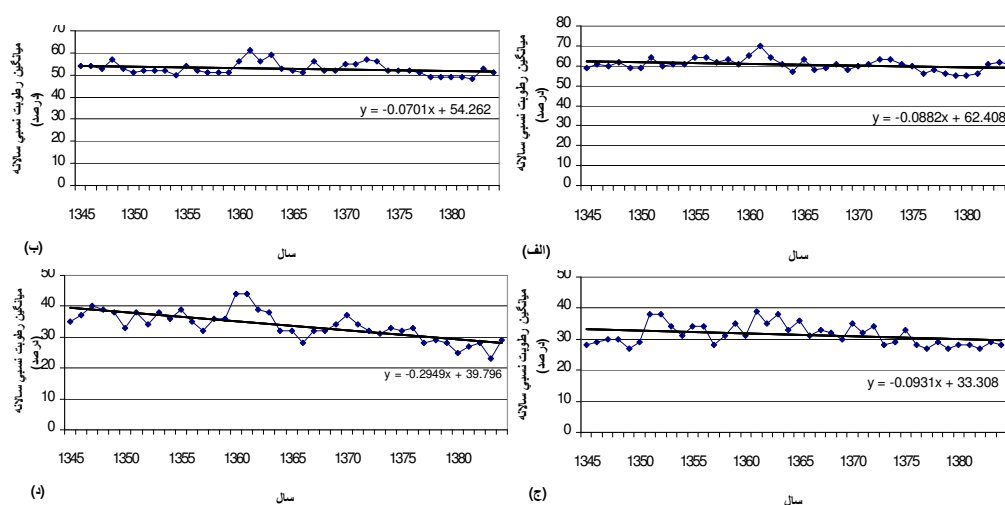
سر انجام مقدار آماره $\hat{u}(t_i)$ از طریق روش پس رو^۱ که از انتهای سری ها شروع می شود، محاسبه می گردد. چنانچه این منحنی ها تقاطع داشته باشند، از آن نقطه به بعد، شروع یک روند آشکار می شود. بدون هیچ روندی، سری های زمانی $u(t)$ و $\hat{u}(t_i)$ دارای انحناء و هم پوشانی در نقاط متعدد می باشند.



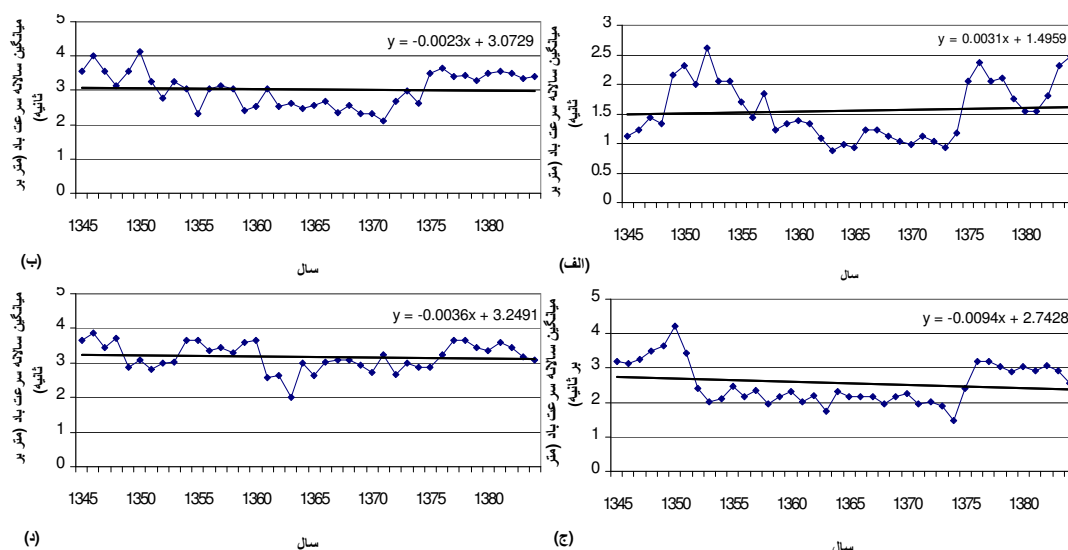
شکل ۱: تغییرات سالانه دمای هوا در دوره آماری ۱۳۴۵-۱۳۸۴ در ایستگاه‌های منتخب: (الف) ارومیه، (ب) تبریز، (ج) یزد، و (د) زاهدان



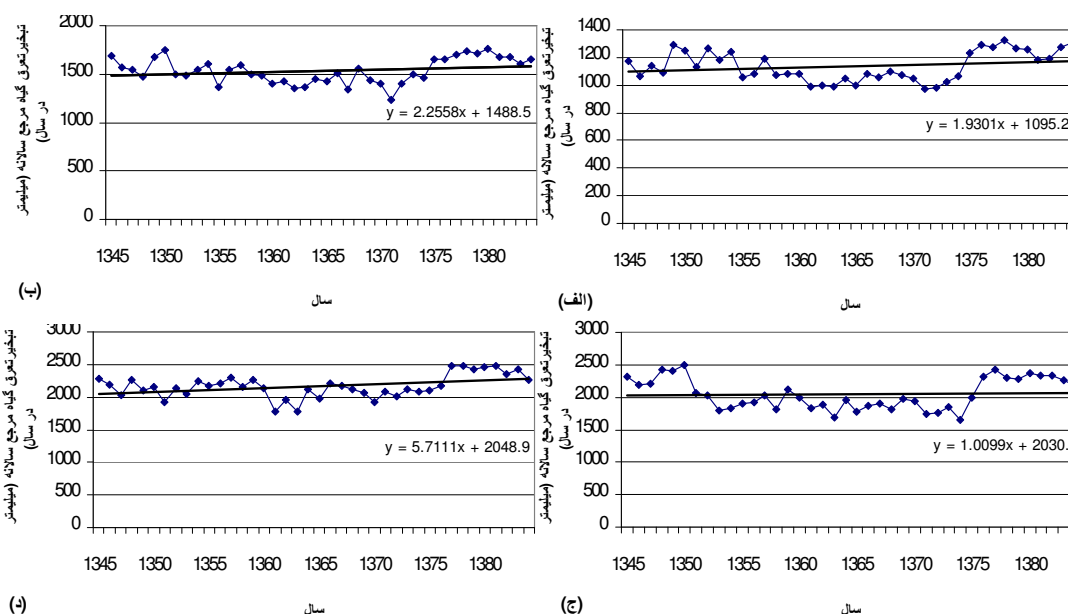
شکل ۲: تغییرات سالانه بارش در دوره آماری ۱۳۴۵-۱۳۸۴ در ایستگاه‌های منتخب: (الف) ارومیه، (ب) تبریز، (ج) یزد، و (د) زاهدان



شکل ۳: تغییرات سالانه رطوبت نسبی در دوره آماری ۱۳۴۵-۱۳۸۴ در ایستگاه‌های منتخب: (الف) ارومیه، (ب) تبریز، (ج) یزد، و (د) زاهدان



شکل ۴: تغییرات سالانه سرعت باد در دوره آماری ۱۳۴۵-۱۳۸۴ در ایستگاه‌های منتخب: الف) ارومیه، ب) تبریز، ج) یزد، و د) زاهدان



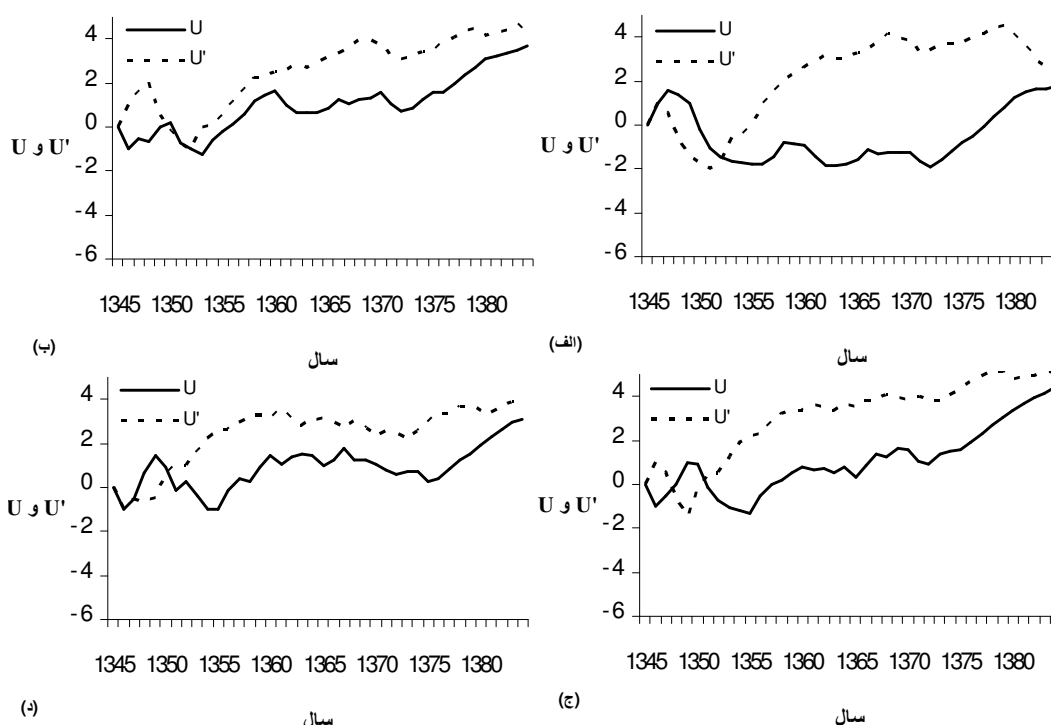
شکل ۵: تغییرات سالانه تبخیرتغرق گیاه مرجع در دوره آماری ۱۳۴۵-۱۳۸۴ در ایستگاه‌های منتخب: الف) ارومیه، ب) تبریز، ج) یزد، و د) زاهدان

بوده است. در این ایستگاه میانگین دمای سالانه در سال‌های بعد از روند نسبت به سال‌های قبل از روند ۱/۸ درصد افزایش داشته است. این افزایش دما در دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه بسیار بیشتر بوده است. به همین دلیل نمودار دمای سالانه برای ایستگاه ارومیه کمی متفاوت از دیگر ایستگاه‌ها می‌باشد. در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند کاهشی معنی‌دار در سری‌های زمانی بارندگی مشاهده می‌گردد که این روند

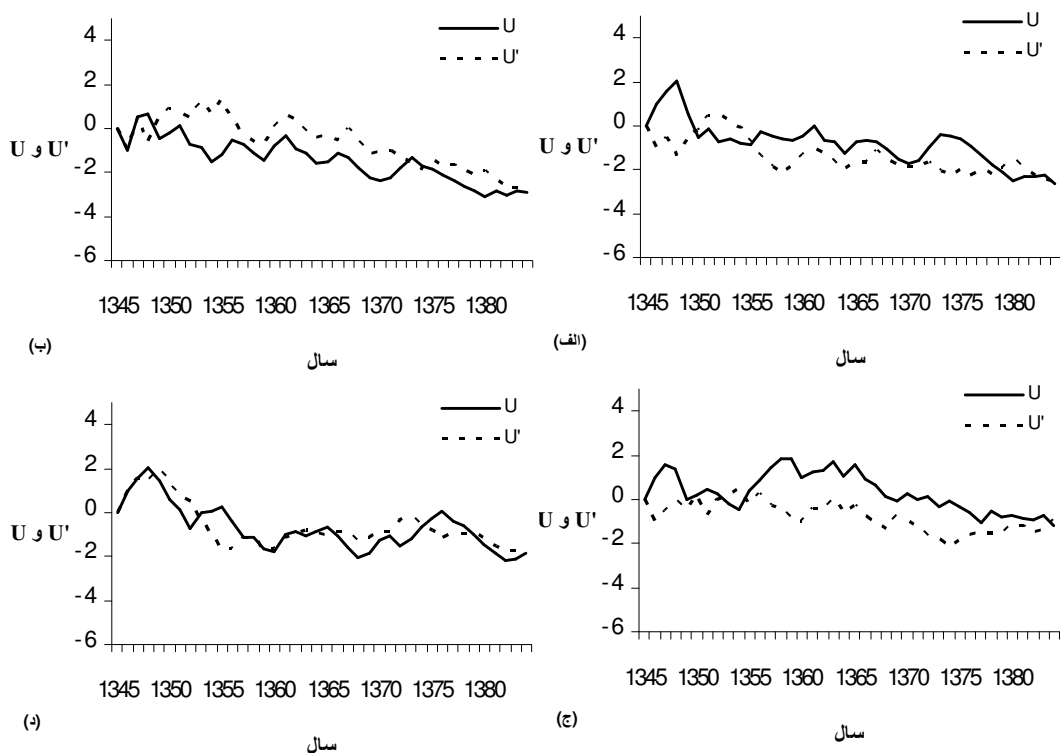
در شکل‌های ۶ الی ۱۰، نمودارهای $u(t)$ و $\hat{u}(t_i)$ به ترتیب برای سری‌های زمانی ایستگاه‌های مورد نظر ارائه شده است. در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند افزایشی معنی‌دار در سری‌های زمانی دما مشاهده می‌گردد که این روند در اقلیم گرم و خشک مشهودتر است. همان‌گونه که در شکل ۶ ملاحظه می‌گردد، یک روند افزایشی دما از سال ۱۳۵۱ در تمامی ایستگاه‌ها آغاز شده است که این افزایش دما در ایستگاه ارومیه کمتر

ارزیابی قرار داد. نتایج وی نشان داد که دمای شبانه، روزانه و شبانه‌روزی ایران به‌ترتیب با آهنگ حدود سه، یک و دو درجه در هر صد سال افزایش داشته است. افزایش روند مشاهده شده در پژوهش حاضر با نتایج مسعودیان (۱۳۸۳) سازگاری نشان می‌دهد. نتایج شیرغلامی و قهرمان (۱۳۸۴) نیز ضمن تایید نتایج این مطالعه نشان‌دهنده افزایش دما در سال‌های آتی در بیشتر مناطق کشور می‌باشد. نتایج کنعانی (۱۳۸۷) در یک دوره آماری ۵۵ ساله در ایستگاه سینوپتیک تبریز نیز نشان داد که متوسط دمای سالانه این ایستگاه روند افزایشی داشته و این روند از دهه ۱۹۹۰ به بعد شتاب بیشتری گرفته است. دانش‌کار آراسته و شکوهی (۱۳۸۷) نیز روند افزایشی معنی‌دار را در میانگین ماهانه دمای هوا در سراسر ایران مشاهده نمودند. دانش‌کار آراسته و شکوهی (۱۳۸۷) هم‌چنین نشان دادند که سری‌های زمانی بارندگی در شمال، شمال‌غرب، جنوب، جنوب‌شرق دارای روند نزولی معنی‌داری است که با نتایج این مطالعه (شکل ۲) همخوانی مطلوبی را نشان می‌دهد.

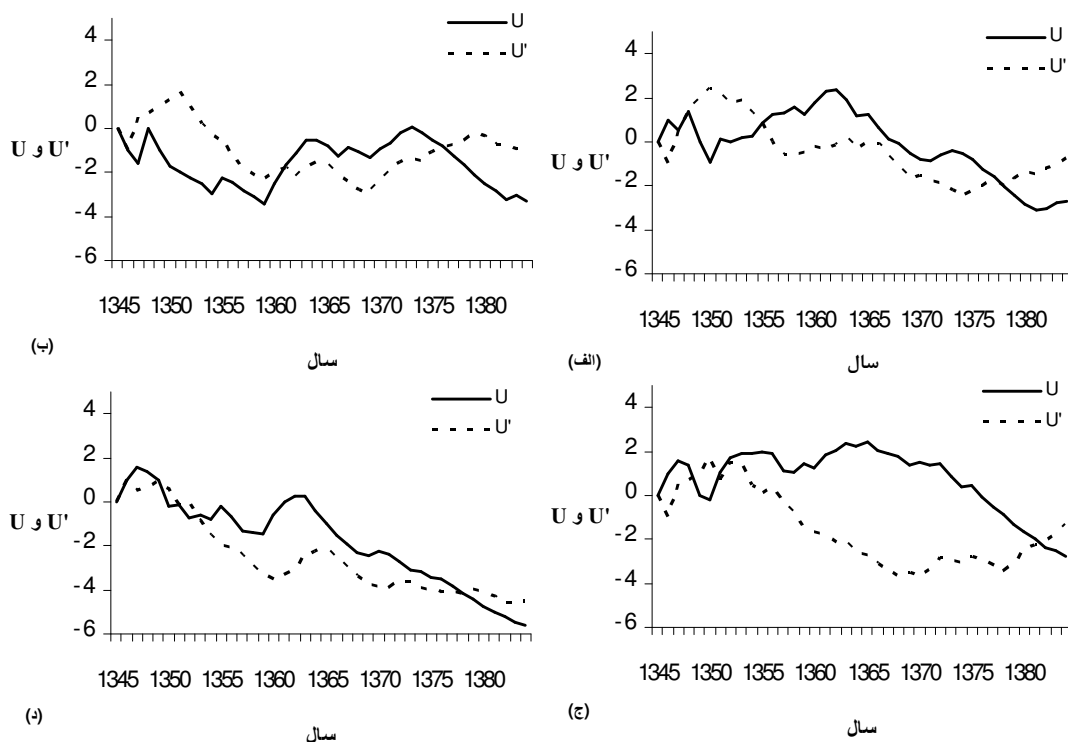
در اقلیم گرم و خشک ملایم‌تر و در ایستگاه‌های سردسیر شدیدتر است. سری‌های زمانی رطوبت نسبی نیز دارای روند معنی‌دار کاهشی می‌باشند. این امر بدلیل افزایش دما و رابطه معکوس دما و رطوبت نسبی است. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد، نمودار رطوبت نسبی برای ایستگاه یزد مشابه با سه نمودار دیگر نمی‌باشد. دلیل این امر افزایش ناگهانی رطوبت نسبی بین سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۶۸ در ایستگاه مزبور می‌باشد. در این دوره رطوبت نسبی حدوداً ۱۰ درصد بیشتر از میانگین درازمدت این پارامتر در این ایستگاه بوده است. اما به‌طور کلی سری زمانی رطوبت نسبی در دوره ۴۰ ساله مورد بررسی در این ایستگاه کاهشی بوده است. در سری‌های زمانی تبخیر/تعرق گیاه مرجع در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه روند افزایشی معنی‌دار مشاهده گردید (شکل ۱۰). سری زمانی سرعت باد در همه ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه ارومیه دارای روند معنی‌دار کاهشی بوده است. پارامتر مزبور در ایستگاه ارومیه روند افزایشی را نشان داد. مسعودیان (۱۳۸۳) روندهای داده‌های دمای ماهانه ایران از ژانویه ۱۹۵۱ تا دسامبر ۲۰۰۰ را مورد



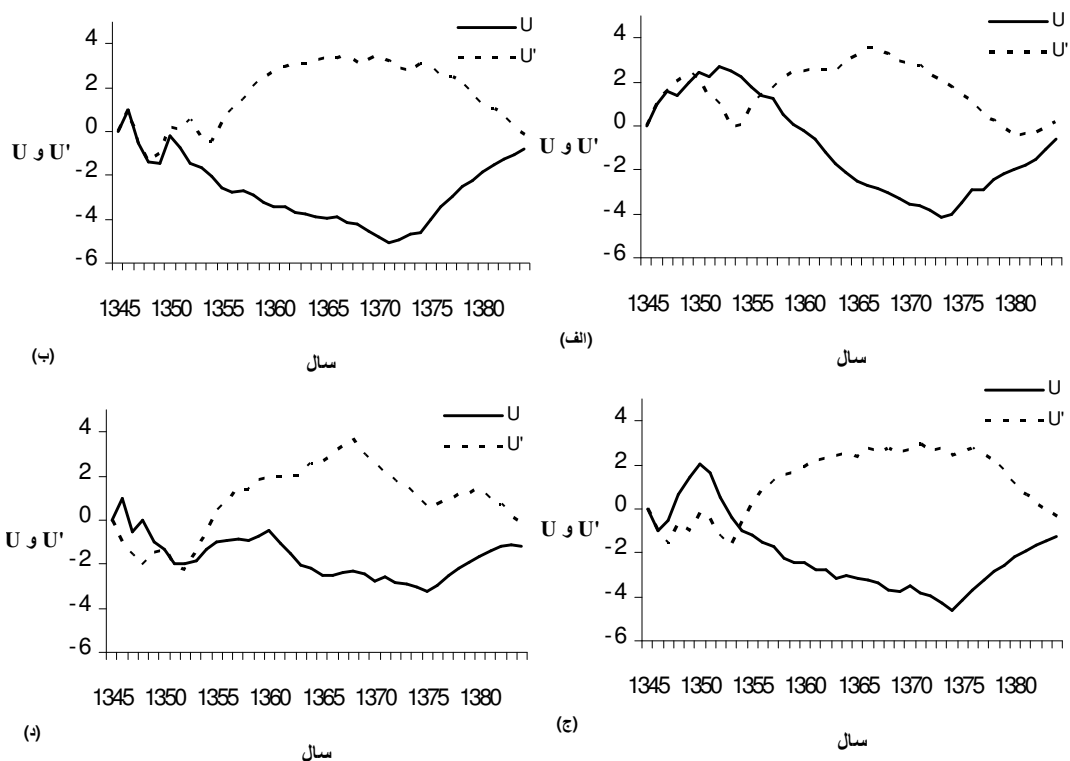
شکل ۶: منحنی‌های U و U' برای دمای سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۳۴۵-۱۳۸۴): الف) ارومیه، ب) تبریز، ج) یزد، د) زاهدان



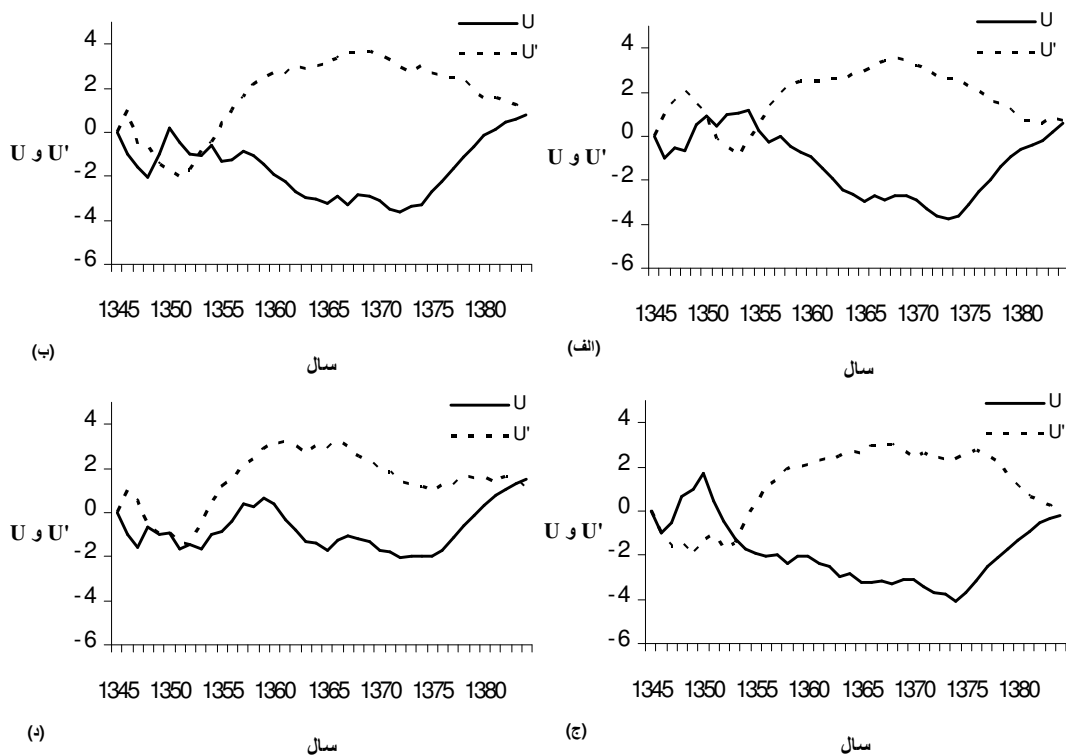
شکل ۷: منحنی‌های U و U' برای بارندگی سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۳۸۴-۱۳۴۵): الف) ارومیه، ب) تبریز، ج) یزد، د) زاهدان



شکل ۸: منحنی‌های U و U' برای رطوبت نسبی سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۳۸۴-۱۳۴۵): الف) ارومیه، ب) تبریز، ج) یزد، د) زاهدان



شکل ۹: منحنی‌های U و U' برای سرعت باد ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۳۸۴-۱۳۴۵): (الف) ارومیه، (ب) تبریز، (ج) یزد، (د) زاهدان



شکل ۱۰: منحنی‌های U و U' برای تبخیرتعرق گیاه مرجع سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۳۸۴-۱۳۴۵): (الف) ارومیه، (ب) تبریز، (ج) یزد، (د) زاهدان

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روند تغییرات سالانه تبخیرتعرق گیاه مرجع و همچنین پارامترهای هواشناسی با استفاده از آزمون غیرپارامتریک من-کندال در دو اقلیم گرم و خشک و سرد نیمه‌خشک مورد بررسی قرار گرفت. از پارامترهای مورد مطالعه، بیشترین نوسان‌ها به‌ترتیب در بارش و سرعت باد و کمترین آن در دما مشاهده شد که این نوسان‌ها و تغییرات ناگهانی را می‌توان مربوط به پدیده نوسان اقلیمی دانست. نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان داد که روند افزایشی معنی‌دار در سری‌های زمانی دما در دو اقلیم مورد مطالعه مشاهده می‌گردد که این روند در اقلیم گرم و خشک مشهودتر است. در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند کاهشی معنی‌دار در سری‌های زمانی بارندگی مشاهده می‌گردد که این روند در اقلیم گرم و خشک ملایم‌تر است. سری‌های زمانی رطوبت نسبی دارای روند معنی‌دار کاهشی می‌باشد. در این پژوهش روند افزایشی معنی‌دار در سری‌های زمانی

تبخیرتعرق گیاه مرجع در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده گردید. سری زمانی سرعت باد در همه ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه ارومیه دارای روند معنی‌دار کاهشی بوده است. نتایج حاصله نشان داد که نوع اقلیم در شیب روند پارامترهای هواشناسی خصوصاً دما و بارندگی بسیار موثر است. با توجه به این که پیامدهای تغییر اقلیم بر روی تبخیرتعرق و آب مورد نیاز گیاهان کمتر مورد بررسی قرار گرفته است، انجام پژوهش‌های جامع بیشتری در این زمینه در اقلیم‌های متفاوت ضروری به‌نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از همکاری صمیمانه مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور و مسئولین ذیربط جهت در اختیار گذاشتن داده‌های هواشناسی مورد نیاز تقدیر و تشکر نمایند.

منابع

- ابراهیمی، ح.، علیزاده، ا. و جوانمرد، س. ۱۳۸۴. بررسی وجود تغییر دما در دشت مشهد به عنوان نمایه تغییر اقلیم در منطقه. تحقیقات جغرافیایی، جلد ۲۰، شماره ۴، ص ۱۸-۵.
- حجام، س.، خوشخو، ی. و شمس‌الدین وندی، ر. ۱۳۸۷. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، ص ۱۶۸-۱۵۷.
- خلیلی، ع. و بذرافشان، ج. ۱۳۸۳. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته. بیابان، جلد ۹، شماره ۱، ص ۳۳-۲۵.
- دانش‌کار آراسته، پ. و شکوهی، ع. ر. ۱۳۸۷. در جستجوی اثرات تغییر اقلیم بر شرایط آب و هوایی و منابع آب‌های سطحی ایران. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز.
- دعایی، ی. ۱۳۸۷. پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع تحت سناریوهای متفاوت IPCC در دو اقلیم مختلف سرد-خشک و گرم-خشک با استفاده از مدل‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ۱۵۰ ص.
- رضیعی، ط. و دانش‌کار آراسته، پیمان. ۱۳۸۴. بررسی روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی و شرقی ایران. آب و فاضلاب، جلد ۱۶، شماره ۲، ص ۸۱-۷۳.
- شیرغلامی، ه. و قهرمان، ب. ۱۳۸۴. بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران. علوم فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۹، شماره ۱، ص ۲۵-۹.
- عزیزی، ق. و روشنی، م. ۱۳۸۷. مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، ص ۲۸-۱۳.
- عسگری، ا.، رحیم‌زاده، ف.، محمدیان، ن. و فتاحی، ا. ۱۳۸۶. تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران. تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۳، ص ۵۵-۴۲.
- علیجانی، ب. و قویدل رحیمی، ی. ۱۳۸۴. مقایسه و پیش‌بینی تغییرات دمای سالانه تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی. جغرافیا و توسعه، شماره ۳، ص ۳۸-۲۱.
- علیزاده، ا. و کمالی، غ. ع. ۱۳۸۱. اثرات تغییر اقلیم بر افزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد. تحقیقات جغرافیایی، جلد ۱۷، شماره ۳-۲، ص ۲۰۱-۱۸۹.
- قائمی، ه. و عساکره، ح. ۱۳۸۲. تحلیلی آماری بر روند تغییرات دمای مشهد طی سده گذشته و رابطه آن با نوسان‌های اطلس شمالی. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، جلد ۱۸، شماره ۴، ص ۱۳۳-۱۱۶.
- قهرمان، ب. و تقواییان، ص. ۱۳۸۶. بررسی روند بارندگی سالانه در ایران. مجله بین‌المللی علوم و فناوری کشاورزی، جلد ۱۰، شماره ۹، ص ۹۷-۹۳.
- کاوایی، م. ر. و عساکره، ح. ۱۳۸۰. بررسی و مدل‌سازی روند دما طی سده گذشته (مطالعه موردی ایستگاه جاسک). مطالعات و پژوهش‌های دانشکده ادبیات و علوم انسانی (اصفهان)، شماره ۲۷-۲۶، ص ۳۸-۱۹.
- کنعانی، ر. ۱۳۸۷. تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، با نگاهی به روند تغییرات دما در ایستگاه سینوپتیک تبریز. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز.
- محمدی، ح. و تقوی، ف. ۱۳۸۴. روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، ص ۱۷۲-۱۵۱.
- مربانجی، ز.، معروفی، ص. و عباسی، ح. ۱۳۸۷. آشکارسازی روند تغییرات دبی و روابط آن با پارامترهای هواشناسی در حوضه یالان همدان با استفاده از آزمون غیرپارامتریک Mann-Kendall. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز.

مساح بوانی، ع. ر. و مرید، س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۹، شماره ۴، ص ۲۷-۱۷.

مسعودیان، س. ا. ۱۳۸۳. بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته، جغرافیا و توسعه. شماره ۲، ص ۱۰۶-۸۹.

ناظم‌السادات، س. م. ج.، سامانی، ن. و مولایی نیکو، م. ۱۳۸۴. تغییر اقلیم در جنوب و جنوب غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش، برهم‌کنش با پدیده ال‌نینو نوسانات جنوبی. مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۸، شماره ۲، ص ۹۷-۸۱.

نیک قوجق، ی. و یارمحمدی، م. ۱۳۸۷. ارزیابی تغییر اقلیم و بررسی تاثیر آن بر منابع آب سطحی (مطالعه موردی: رودخانه زیارت استان گلستان)، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. تبریز.

Allen, R. G., Periera, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guideline for computing crop water requirement. FAO Irrigation and drainage. Paper NO 56. FAO. Rome, Italy. 301pp.

Allen, R. G. 2003. REF-ET User's Guide, University of Idaho Kimberly Research Stations: Kimberly, Idaho.

Burn, D. H. 1994. Hydrologic effects of climate change in the West-Central Canada. Journal of Hydrology, 160: 53-70.

Gleick, P. H. 1986. Methods for evaluating the regional hydrologic impacts of global climate change. Journal of Hydrology, 88: 97-116.

Herrington, P. 1996. Climate change and the demand for water, Department of the Environment. HMSO, London, U.K.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate change 2007: IPCC 4th Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, 438 pp.

Mansell, M. G. 1997. The effect of climate change on rainfall trends and flood risk in the West of Scotland. Nordic Hydrology, 28: 37-50.

McCabe, G. J. Jr., and Wolock, D. M. 1992. Sensitivity of irrigation demand in a humid-temperate region to hypothetical climate change. Water Resource Bulletin, 28(3): 533-543.

Nazemosadat, M. J., Samani, N., Barry, D. A., and Molaii Niko, M. 2006. ENSO forcing on climate change in Iran: precipitation analysis, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, 30(4), 555-565.

Pao-Shan, Y., Tao-Chang, Y., and Chien-Chih, C. 2002. Effects of climate change on evapotranspiration from paddy fields in Southern Taiwan, Climate Change, 54: 165-179.

Rao, A. R., and Al-Wagdany, A. 1995. Effects of climate change in Wabash River Basin. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 121(2) : 207-215.

Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis of series of observation. World Meteorological Organization (WMO). Technical Note. No. 143, Geneva: 192 pp.

Wang, Y., Jiang, T, Bothe, O., and Fraedrich, K. 2007. Changes of pan evaporation and reference evapotranspiration in the Yangtze River basin Theoretical and Applied Climatology, 90: 13-23.

Investigating Trends of Annual Meteorological Parameters in Cold and Warm Climates of Iran

Tabari¹, H., Sabziparvar¹, A. A. and Marofi¹, S.

Abstract

During the last few decades, global climate change has been an important research task throughout the world and therefore its consequences have been addressed in many research works. In this research, the annual meteorological parameters such as air temperature, precipitation, relative humidity, wind speed and reference crop evapotranspiration (ET_0) were analyzed to determine the temporal pattern of long-term trends of meteorological data. The trend analyses were carried out for two different climates: cold and warm climates, during the period 1966-2005. In this regard, Mann-Kendall test was used. The results showed that precipitation and wind speed parameters had the most variations to the average values in the study period respectively, whereas the least variation was observed in temperature data. In most cases, trends were observed in the both studied climates. Significant increasing trends were observed in air temperature data, while the trend statics revealed a significant decreasing trend for precipitation and relative humidity. Significant increasing trends were observed in air temperature and reference crop evapotranspiration data, while precipitation and relative humidity data revealed significant decreasing trends in all stations. The time series of annual wind speed data also showed negative trend in the majority of the stations. The results of such research are applicable in many sectors, including long-term water resources management and prediction of plant water demand in similar climates.

Keywords: Trend, Temperature-wind-relative humidity, Reference crop evapotranspiration, Mann-Kendall test, Cold and warm climates

1. Graduated M.Sc. of Irrigation and Associate Profossors respectively, Departement of Irrigation, Faculty of Agricultuer, Bu-Ali Sina University, Hamedan
