

بررسی روند تغییرات فراسنچ‌های آب و هوایی در اقلیم نیمه‌خشک ایران

هادی دهقان^۱، علی اکبر عرب سلغار^{۲*} و فریدون کاوه^۳

تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۱۸

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند کشور ما، عمدت‌ترین عامل مصرف منابع آب تبخیر- تعرق می‌باشد. لذا، آگاهی از تغییرات آن و سایر فراسنچ‌های اقلیمی نقشی موثر در برنامه‌ریزی، توسعه و مدیریت منابع آب ایفا می‌کند. در این پژوهش، روند تغییرات درازمدت تبخیر- تعرق گیاه مرجع، میانگین دما و بارندگی در مقیاس ماهانه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، ابتدا کلیه‌ی ایستگاههای سینوپتیک ایران با استفاده از روش اقلیم دومارتین اقلیم‌بندی شدند. این پژوهش در اقلیم نیمه‌خشک ایران انجام گرفته است که در آن ۱۴ ایستگاه سینوپتیک با دوره‌ی آماربرداری دست‌کم ۳۰ ساله با کاربرد سه روش کمترین مربعات خطأ، من-کنдал و والد-ولفویتز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تبخیر و تعرق گیاه مرجع با کاربرد روش فائو-پنم-مونتیث محاسبه شده است. نتایج بررسی در کل دوره‌ی آماری نشان دادند که به طور میانگین برای فراسنچ تبخیر- تعرق ۲۴ درصد ایستگاهها روند مثبت، ۲۹ درصد منفی و ۴۷ درصد بدون روند می‌باشند. به گونه‌ی مشابه، برای فراسنچ دما ۲۲ درصد ایستگاهها روند مثبت، ۱۴ درصد روند منفی و ۶۴ درصد فاقد روند هستند. نتایج روند بارندگی نشان داد که بارندگی در بیش‌تر ایستگاهها فاقد روندی معنی‌دار است. نتایج کاربرد روش من-کنдал با روش کمترین مربعات خطأ، بیش‌تر مطابقت دارد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان اذعان کرد که برخی مناطق در سال‌های آینده با افزایش دما و تبخیر- تعرق رو به رو خواهند شد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق، دما، بارندگی، اقلیم نیمه‌خشک، روند زمانی، ایران.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

۳- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

*- نویسنده‌ی مسؤول مقاله: ali.arabsolghar@gmail.com

مرکزی و شرقی ایران مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که نشانهای از بروز تغییرات اقلیمی در منطقه‌ی موردنالجهة وجود ندارد. نتایج این پژوهش همچنین نشان دادند که جنوب شرقی کشور در سال‌های اخیر با کمبود بارندگی و افزایش دما مواجه بوده است و بویژه بارندگی سالانه در این منطقه از کشور دارای روند کاهشی معنی‌داری بوده است. از این‌رو، رویداد خشکسالی‌های پیاپی در این منطقه را می‌توان به روند کاهشی بارش و افزایش دما نسبت داد.

گل‌کار و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی روند تغییرات گروه زمانی تبخیر- تعرق ماهانه گیاه مرجع با استفاده از روش فائق- پنمن- مانتیث پرداختند. ایشان پس از جمع‌آوری آمار و داده‌های ۳۳ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره‌ی آماری ۴۰ ساله، تبخیر- تعرق گیاه مرجع را با کاربرد روش فائق- پنمن- مانتیث محاسبه کرده و روند تغییرات زمانی این فراسنچ را در مقیاس ماهانه برای هر ایستگاه در طول دوره‌ی آماری بلندمدت (۴۰ ساله) و کوتاه‌مدت (۲۰ ساله) با کاربرد روش معنی‌دار بودن شبیخ خط روند زمانی و همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن محاسبه کردند. نتایج نشان دادند که در دوره‌ی آماری ۴۰ ساله، به طور میانگین، ۳۸ درصد از ایستگاهها درای روند مثبت و ۶۲ درصد دارای روند منفی و در دوره‌ی آماری ۲۰ ۶۲/۵ درصد از ایستگاهها دارای روند مثبت و ۳۷/۵ درصد دارای روند منفی بوده‌اند که با کاهش طول دوره‌ی آماری از سطوح دارای روند منفی کاسته و به سطوح دارای روند مثبت افزوده شده است.

شیرغلامی و همکاران (۱۳۸۳) در پژوهشی روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع را در ایران بررسی کردند. نتایج روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع در ایران نشان دادند که در کل دوره‌ی آماری، ۱۲٪ ایستگاهها روند مثبت، ۲۶٪ روند منفی و بقیه فاقد روند معنی‌دار بوده‌اند. در پژوهش دیگری از قهرمان و شیرغلامی (۱۳۸۴) روند تغییرات میانگین دمای سالانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که تغییرات دما در ۵۹٪ ایستگاهها دارای روند مثبت و در ۴۱٪ دارای

پیشگفتار

تغییرات اقلیمی تاثیری زیاد بر چرخه‌ی آبشناسی و در نتیجه، بر منابع آب، فراوانی و شدت خشکسالی و سیل، محیط‌های طبیعی، جامعه و اقتصاد داردند. بی‌نظمی در منابع آب هنگام خشکسالی‌ها موجب بروز زیان‌های اجتماعی و اقتصادی زیادی می‌گردد که اغلب جبران آن‌ها سال‌ها به طول می‌انجامد. پدیده‌های عمدی مرتبط با تغییر در ترکیب اتمسفر، مانند افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو، تأثیر بسیار زیادی بر آب و هوا دارند. تقریباً سراسر کره‌ی زمین افزایش دما و تغییر در الگو بارندگی را در سده‌ی گذشته تجربه کرده و بنظر می‌رسد که این وضعیت در آینده نیز ادامه داشته باشد. چنین تغییراتی در آب و هوا ممکن است در برگیرنده‌ی اثراتی قابل توجه و ویژه بر چرخه‌ی آبشناسی باشند (رضیئی و همکاران، ۱۳۸۴). در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در مورد روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع و سایر فراسنچ‌های اقلیمی انجام شده است. روی هم رفته، در مناطق گوناگون فراسنچ‌های اقلیمی روندهایی متفاوت را از خود نشان داده و از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند. مطالعات انجام شده در سال ۱۹۹۹ نشان دادند که در دشت‌های مرکزی و جنوبی آمریکا، روند تبخیر و تعرق افزایشی و در دشت‌های شمالی کاهشی می‌باشد. هم‌چنین، بررسی روند در ماههای گرم و سرد انجام شد و مشاهده گردید که در ماههای گرم سال (تابستان) روند افزایشی و در ماههای سرد سال (زمستان) روند کاهشی داشته است. در این مطالعه رابطه‌ای معنی‌دار بین روند تبخیر- تعرق و بارندگی برقرار نگردید (قهeman و شیرغلامی، ۱۳۸۴).

مطالعات انجام شده در چین نشان دادند که تبخیر- تعرق گیاه مرجع برآورد شده با کاربرد رابطه‌ی پنمن- مانتیث، بین سال‌های ۱۹۵۴ تا ۱۹۹۳ در تمام فصل‌ها و برای تمام مناطق تحت مطالعه، بجز چند منطقه‌ی خاص که استثناء می‌باشند، روند کاهشی داشته است (توماس، ۲۰۰۰).

رضیئی و همکاران (۱۳۸۴)، در پژوهشی روند بارندگی سالانه را در مناطق خشک و نیمه خشک

متغیرهای اقلیمی و تبخیر- تعرق در مقیاس ماهانه در اقلیم نیمه‌خشک ایران است.

مواد و روش‌ها

تعریف روند و محاسبه‌ی آن

بمنظور بررسی وجود روند در یک گروه زمانی، از روش‌های متعدد آماری می‌توان استفاده کرد. گرچه از تجزیه و تحلیل وایازی با کاربرد روش کمترین مربعات خطا در بررسی روند فراسنج‌های اقلیمی به مقداری بیش‌تر استفاده شده است، در این پژوهش دو روش متفاوت دیگر نیز بکار برده شده است تا حساسیت نتایج نسبت به روش انتخابی هم مورد بررسی قرار گیرد. با این وجود باید توجه نمود که این روش‌ها طبقه‌بندی شده نبوده و برای کاربرد آن‌ها پیش شرط‌هایی در مراجع آورده نشده است. از آن‌جا که روش شیب خط در پژوهش‌ها گسترده‌تر است، این مطالعه، به گونه‌ی عمدی، بر این روش متکی شده و از دو روش دیگر نیز برای مقایسه استفاده شده است (قهeman و شیرغلامی، ۱۳۸۴).

آزمون کمترین مربعات خطا

روی هم رفته، در این روش عرض از مبدأ و شیب خط وایازی را به وسیله‌ی کمینه‌کردن خطا بین دو متغیر مستقل (زمان، X) ووابسته (مقدار فراسنج، Y) بدست می‌آورند و سپس آماره‌ی $t = b/S_b$ که در آن b عرض از مبدأ خط برازش داده شده و S_b انحراف معیار داده‌ها رابطه‌ی ۱ است، تعریف می‌شود.

$$S_b^2 = \frac{S^2}{\sum(X - X_i)^2} \quad (1)$$

که در آن S^2 از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$S^2 = \frac{\sum(Y - Y_i)^2}{(n - 2)} \quad (2)$$

فرضیه‌های صفر و مقابل به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$H_0 : b = 0, H_1 \neq 0 \quad (3)$$

روند منفی بوده‌اند. نتایج بررسی در دوره‌ی مشترک آماری (۱۹۶۸-۱۹۹۸) نشان دادند که در ۷۶٪ ایستگاهها روند مثبت و در ۳۲٪ روند منفی حاکم بوده است. در این حالت و در سطح معنی‌داری ۵ درصد، ۴۴، ۱۵، ۴۱ و ۴۰ درصد از ایستگاهها به ترتیب روند مثبت، منفی و بدون روند را از خود نشان دادند. نامبردگان در پایان چنین عنوان کردند که هرچند شیب خط روند درازمدت میانگین دمای سالانه در برخی ایستگاهها به لحاظ آماری معنی‌دار نشده است، ولی مثبت‌بودن این شیب بیانگر افزایش دما می‌باشد. کریم‌زاده و قهرمان (۱۳۸۰) روند تغییرات زمانی تبخیر- تعرق گیاه مرجع را طی دوره‌ی سی‌ساله ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ در ایستگاه سینوپتیک مشهد مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که تبخیر- تعرق گیاه مرجع از سال ۱۹۸۱ روند افزایشی معنی‌داری را در سطح ۵ درصد دارا بوده است. چنین روندی برای کلیه ماههای سال نیز وجود داشته، ولی زمان شروع آن با یکدیگر تطابق کاملی نداشت. درجه‌ی حرارت از میان کلیه فراسنج‌های دخیل در تبخیر- تعرق، به گونه‌ی عمدی روند افزایش معنی‌داری را از خود نشان داد، ولی فراسنج‌های دیگر از روند مشخصی تبعیت نمی‌کردند. در پژوهشی دیگر قهرمان و تقواییان (۱۳۸۶) روند تغییرات بارندگی سالانه را در ۳۰ ایستگاه سینوپتیک ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که با در نظر گرفتن کل طول دوره‌ی آماری در سطح ۹۵٪ هفت ایستگاه روند منفی و شش ایستگاه روند مثبت داشتند. با تعییر طول دوره‌ی آماری به آخرین ۴۰ سال، در سطح ۹۵٪ هشت ایستگاه روند مثبت و چهار ایستگاه روند منفی داشتند. با کاهش طول دوره‌ی آماری به آخرین ۳۰ سال، در ایستگاه‌های کمتری روند مشاهده شد. نتایج نشان داد که در تمام حالات، روند مشاهده شد. روند مشاهده شد. نتایج نشان داد که در تمام حالات، روند به اندازه‌ی بارندگی سالانه بستگی ندارد، اما در مورد طول دوره‌ی آماری، روند رفتار متفاوتی را نشان داد. با توجه به این که ایران بیش‌تر در منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته است، هدف از این پژوهش بررسی تغییرات و روند احتمالی

آزمون والد-ولفویتز

برای یک گروه به طول N (که X_1, X_2, \dots, X_N است)

$$\text{آماره} R = \sum_{i=1}^{N-1} x_i x_{i+1} + x_1 x_N$$

نمونه مستقل باشند، از توزیع بهنجار با میانگین و پراش زیر تبعیت می‌کند:

$$\bar{R} = (S_1^2 - S_2^2) / (N-1) \quad (7)$$

$$Var(R) = (S_2^2 - S_4) / (N-1) - \bar{R}^2 + (S_1^4 - 4S_1^2 S_2 + 4S_1 S_3 + S_2^2 - 2S_4) / (N-1)(N-2) \quad (8)$$

که در آن m'_r و $S'_r = Nm'_r$ ام نمونه حول مبدا است. مقدار $u = \frac{R - \bar{R}}{\sqrt{V(R)}}$

صفر و پراش یک) تبعیت می‌کند و برای آزمون

فرضیه‌ی استقلال در سطح α می‌توان $|u| > u_{\frac{\alpha}{2}}$ را با متناظر با احتمال تجاوز $\alpha/2$ مقایسه نمود.

انتخاب ایستگاه

طول دوره‌ی آماری عاملی بسیار مهم در بررسی‌های آماری است، به گونه‌ای که هر اندازه طول دوره‌ی آماری بیشتر و در واقع آمار درازمدت از یک فراسنج در اختیار باشد، تجزیه و تحلیل انجام شده از دقت و اعتباری بیشتر برخوردار خواهد بود. از آن جا که ایستگاه‌های سینوپتیک در ایران، از طول دوره‌ی آماری بیشتری نسبت به ایستگاه‌های هواشناسی (کلیماتولوژی) برخوردارند؛ بنابراین، نخست آمار کلیه‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک از پایگاه سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. بر اساس آمار ارایه شده، ۱۶۰ ایستگاه سینوپتیک در ایران وجود دارند. دوره‌ی آماری این ایستگاه‌ها با هم یکسان نبوده و روی هم رفته، بین ۱۰ تا ۵۳ سال (مختوم به سال ۲۰۰۵) که جمع آوری آمار محدود بود) متغیر است. به گونه‌ی مسلم، بررسی روند با طول دوره‌ی آماری کم قابل اعتماد نمی‌باشد، از این رو، حداقل طول دوره‌ی آماری ۳۰ سال انتخاب شد. این دوره در بررسی‌های اقلیم‌شناسی نیز اغلب مورد توجه است. بنابراین، از میان کلیه‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک، ۱۴ ایستگاه که

اگر قدر مطلق $t = \frac{b/S_b}{\sqrt{s_b}}$ از جدول

t-student بزرگ‌تر باشد، فرض H_0 رد خواهد شد که در این صورت شبیه خط اختلافی معنی‌دار با صفر خواهد داشت و از آن به عنوان روند در گروه زمانی یاد می‌شود. یکی از شرایط اساسی استفاده از این آزمون این است که داده‌ها باید از تابع توزیعی تبعیت کنند که ابتدا از آزمون k.s. یا آزمون نیکویی برازش گلموگروف-اسمرینوف استفاده کرده در صورتی که از تابع توزیع بهنجار یا گامبل و... تبعیت نماید، می‌توان از روش کمترین مربعات خط استفاده کرد.

آزمون من-کندال

اگر y_t گروه مقادیر سالانه‌ی عامل مورد نظر (دما در این جا) به گونه‌ای که $N = 1, 2, \dots$ باشد (تعداد سال‌های آماری است)، هر مقدار y'_t (به گونه‌ای که $t = t' + 1, t' + 2, \dots, N$) مقایسه می‌شود و گروه جدید Z_k با مقادیر $1, 0, \dots, -1$ به ترتیب در ازای $y'_t > y_t$ ، $y_t > y'_t$ و $y_t \prec y'_t$ ساخته می‌شود به گونه‌ای که در آن K از رابطه‌ی \prec محاسبه گردیده و آماره‌ی من-کندال ($U_c = U_c(t) = t' + 1, t' + 2, \dots, N$) از رابطه‌ی \prec بدست می‌آید که در آن S مجموع Z_k ‌ها، $V(S)$ پراش S در رابطه‌ی \prec بوده و مقدار m بر حسب این که S منفی یا مثبت باشد، $+1$ یا -1 خواهد بود.

$$K = (t' - 1)(2N - t') / 2 + (t - t') \quad (4)$$

$$u_c = \frac{S + m}{\sqrt{V(S)}} \quad (5)$$

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^n e_i(e_i-1)(2e_i+5) \right] \quad (6)$$

که در آن n تعداد گروههای جفتی و e_i تعداد مشاهده‌ها در ایامین گروه است. در این روش، فرض می‌شود که در ازای $S=0$ آماره‌ی $U_c = 0$ خواهد بود، سپس اگر $|U_c| > u_1 - \alpha/2$ ، به گونه‌ای که $U_1 - \alpha/2 < U_c < U_1 + \alpha/2$ از توزیع بهنجار معیار است، باشد فرض روند نمی‌تواند رد شود.

در ۷ ایستگاه شیب خط مثبت و در ۷ ایستگاه منفی؛ در مارس در ۵ ایستگاه شیب خط مثبت و در ۹ ایستگاه منفی؛ در آوریل در ۶ ایستگاه شیب خط مثبت و در ۸ ایستگاه منفی؛ در می در ۹ ایستگاه شیب خط مثبت و در ۵ ایستگاه منفی؛ در جون در ۷ ایستگاه شیب خط مثبت و در ۷ ایستگاه منفی؛ در جولای در ۷ ایستگاه شیب خط مثبت و در ۷ ایستگاه منفی؛ در آگوست در ۷ ایستگاه شیب خط مثبت و در ۷ ایستگاه منفی؛ در سپتامبر در ۶ ایستگاه شیب خط مثبت و در ۸ ایستگاه منفی؛ در اکتبر در ۶ ایستگاه شیب خط مثبت و در ۸ ایستگاه منفی؛ در نوامبر در ۵ ایستگاه شیب خط مثبت و در ۹ ایستگاه منفی و در دسامبر در ۵ ایستگاه شیب خط مثبت و در ۹ ایستگاه منفی می‌باشد. بالاترین روند مثبت ماه می (۶۴٪) و بالاترین روند منفی را ماههای ژانویه، نوامبر و دسامبر (۶۴٪) دارا هستند. شیب خط روند درازمدت تبخیر-تعرق در سپتامبر به عنوان نمونه در ایستگاههای سینوپتیک مورد بررسی در جدول ۱ ارایه شده است. چنانچه معنی دار بودن شیب‌ها مدنظر قرار گیرد، نتایج متفاوت خواهد بود. برای مثال، در ماه سپتامبر از مجموع ۱۴ ایستگاه مورد مطالعه در کل دوره‌ی آماری، ۶ ایستگاه (۴۳٪) فاقد روند معنی داری در سطح ۵ درصد می‌باشند، اما ۸ ایستگاه باقی‌مانده (۵۷٪) روند معنی داری از خود نشان دادند، به گونه‌ای که در ۳ ایستگاه (۲۱٪) روند مثبت و در ۵ ایستگاه (۳۶٪) روند منفی می‌باشد. جهت پرهیز از اطاله کلام، نتایج مربوط به درصد روند تبخیر-تعرق در ماههای گوناگون در جدول ۲ خلاصه شده است. بیشترین روند معنی داری مثبت در فوریه و جولای (۳۶٪) و کمترین آن در آوریل و می (۱۴٪) مشاهده شده است. بیشترین روند معنی داری منفی در آگوست، سپتامبر، نوامبر و دسامبر (۳۶٪) و کمترین آن در ژانویه، می و جون (۲۱٪) وجود دارد.

دما

برای نمونه، شیب خط روند درازمدت میانگین دما در سپتامبر، در ایستگاههای سینوپتیک مورد بررسی

دارای شرایط یاد شده و در اقلیم نیمه خشک (اقلیم‌بندی دومارت) بودند، انتخاب شدند. خلاء داده‌ها در برخی از ایستگاهها با استفاده از آمار ایستگاههای مجاور با کاربرد روش تفاضل‌ها برای بارندگی و نسبت‌ها برای سایر فراسنج‌ها برطرف شده است. این ایستگاهها در شکل ۱ نشان داده اند.

محاسبه‌ی روند

بمنظور محاسبه‌ی روند درازمدت فراسنج‌های هواشناسی، نخست میانگین دمای ماهانه از میانگین‌گیری بین دمای کمینه و بیشینه‌ی ماهانه بدست آمد. تبخیر-تعرق ماهانه نیز با استفاده از روش فائو-پنمن- مانیث که یکی از روش‌های معتبر تخمین تبخیر-تعرق می‌باشد، محاسبه شد (علیزاده ۱۳۷۸). بمنظور انجام آزمون روند، کلیه‌ی آزمون‌ها در MATLAB برنامه‌نویسی شد و تمام برنامه‌ها مورد واسنجی قرار گرفتند. سپس، شیب خط و عرض از مبدا خطی که با کاربرد روش کمترین مربعات خطی بدست آمده بود، معین گردید. بمنظور انجام آزمون معنی دار بودن شیب خط با عدد صفر، یا آزمون روند آماره‌ی t (معادله‌ی $t = \frac{b}{S_b}$) محاسبه گردید. آزمون روند یا معنی دار بودن تفاوت شیب خط با صفر برای کل دوره‌ی آماری از سالی که ایستگاه مورد نظر دارای آمار بود تا سال ۲۰۰۵ در نظر گرفته شده است. در این پژوهش از نرم افزارهای MINITAB و Excel و MATLAB استفاده شده است.

نتایج و بحث تبخیر و تعرق گیاه مرجع

روی هم رفته، نتایج روند تبخیر-تعرق در اقلیم نیمه‌خشک نشان دادند که تبخیر-تعرق در بیشتر ماهها دارای روندی یکسان است. برای مثال، روند تبخیر-تعرق در ماههای فوریه، جون، جولای و آگوست کاملاً مشابه و یکسانند. نتایج نشان دادند که از مجموع ۱۴ ایستگاه مورد بررسی در ژانویه، در ۵ ایستگاه شیب خط مثبت و ۹ ایستگاه منفی؛ در فوریه

شیب منفی در آوریل (۱۴ ایستگاه) و کمترین آن در دسامبر (۳ ایستگاه) مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که در آوریل بارندگی در همه‌ی ایستگاهها روند کاهشی داشته است.

چنانچه معنی‌دار بودن شیب‌ها مد نظر قرار گیرد، نتایج متفاوت خواهد بود برای مثال، در سپتامبر در کل دوره‌ی آماری، همه‌ی ایستگاهها (۱۰۰٪) فاقد روندی معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند. نتایج مربوط به درصد روند بارندگی در ماههای گوناگون در جدول ۶ خلاصه شده است. از لحاظ روند معنی‌داری مثبت، همه‌ی ماهها به جز مارس (۷٪) و جولای (۱۴٪) فاقد روند معنی‌داری می‌باشند. از لحاظ روند معنی‌داری منفی، همه‌ی ماهها به جز ژانویه، فوریه و آوریل (۱۴٪) و مارس و دسامبر (۷٪) فاقد روند معنی‌داری هستند.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان دادند که روند افزایش دما و تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ماههای گوناگون متفاوتند. هر چه از ماههای سرد سال به سمت ماههای گرم حرکت کنیم، دما و تبخیر-تعرق روند افزایشی بیشتری نشان می‌دهند. برای مثال برای فراسنجهای میانگین دمایی ماهانه، روند افزایش دما از آوریل شروع و تا پایان دسامبر ادامه دارد که مطابق با اویل فروردین تا انتهای آذرماه می‌باشد. با توجه به این که در بیشتر ماهها شیب خط روند درازمدت دما و تبخیر-تعرق مثبت است، چنین استنباط می‌شود که بیشتر ایستگاهها افزایش دما و تبخیر-تعرق را نشان می‌دهند. دو روش از سه روش مورد بررسی (شیب خط و من-کن达尔)، تقریباً نتایج یکدیگر را تایید کردند (قهمان و شیرغلامي، ۱۳۸۴). با توجه به این که نتایج روش والد-ولفویتز با دو روش دیگر هماهنگی نداشت، دلیلی مبنی بر برتری یک روش نسبت به روش دیگر وجود ندارد. با توجه به این که در روش‌های من-کن达尔 و والد-ولفویتز طول دوره‌ی آماری بایستی پیوسته بوده و در بیشتر کشورها داده‌های مفقود وجود دارند، روش کمترین مربعات خط‌آ جهت محاسبه‌ی روند

در جدول ۳ ارایه شده است. نتایج نشان داد که از مجموع ۱۴ ایستگاه مورد بررسی در سپتامبر، ۵ ایستگاه (۳۶٪) دارای شیب خط مثبت و ۹ ایستگاه دارای شیب خط منفی (۶۴٪) می‌باشند. بیشترین شیب مثبت در آوریل و دسامبر (۱۰ ایستگاه) و کمترین آن در سپتامبر (۵ ایستگاه) دیده شد و بیشترین شیب منفی در سپتامبر (۹ ایستگاه) و کمترین آن در آوریل و دسامبر (۴ ایستگاه) مشاهده شد.

از لحاظ معنی‌دار بودن شیب خط روند درازمدت دما در کل دوره‌ی آماری، برای نمونه در سپتامبر، در سطح ۵ درصد ۴ ایستگاه (۲۹٪) روند مثبت، ۳ ایستگاه (۲۱٪) روند منفی و ۷ ایستگاه (۵۰٪) بدون روند می‌باشند. نتایج مربوط به درصد روند میانگین دما در ماههای گوناگون در جدول ۵ خلاصه شده اند. همان گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین روند معنی‌داری مثبت در آوریل (۴۳٪) و کمترین آن در ژانویه، فوریه و مارس (۰٪) مشاهده شده است. بیشترین روند معنی‌داری منفی در می و اکتبر (۲۹٪) و کمترین آن در ژانویه، فوریه، آوریل و دسامبر (۰٪) وجود دارد.

از آن‌جا که میانگین دما یکی از فراسنجهای مهم در محاسبه‌ی تبخیر-تعرق گیاه مرجع می‌باشد، افزایش آن باعث افزایش تبخیر-تعرق نیز می‌شود.

بارندگی

روی هم رفته، نتایج بدست آمده از روند تغییرات درازمدت بارندگی ماهانه در کل دوره‌ی آماری نشان دادند که بارندگی در بیشتر ایستگاهها فاقد روند معنی‌دار ویژه‌ای می‌باشد. برای نمونه، شیب خط روند درازمدت بارندگی در سپتامبر، در ایستگاههای سینوپتیک مورد بررسی در جدول ۴ ارایه شده است. نتایج نشان دادند که از مجموع ۱۴ ایستگاه مورد بررسی، در ۷ ایستگاه (۵۰٪) دارای شیب خط مثبت و ۷ ایستگاه دارای شیب خط منفی (۵۰٪) بودند. بیشترین شیب مثبت در دسامبر (۱۱ ایستگاه) و کمترین آن در آوریل (۰ ایستگاه) دیده شد. بیشترین

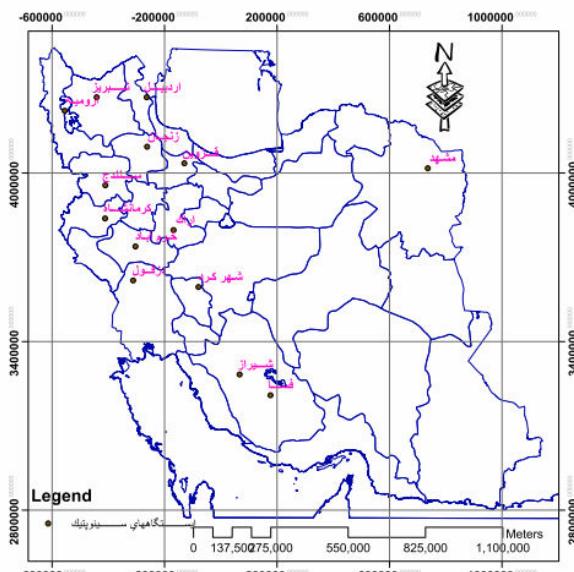
- ۵- قهرمان، ب. و ۵. شیر غلامی. ۱۳۸۴. بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۹: ۲۵-۹.
- ۶- کریم‌زاده مقدم، م. و ب. قهرمان. ۱۳۸۰. نگرش آماری بر افزایش تدریجی تبخیر- تعرق گیاه مرجع در مشهد و پیامدهای احتمالی آن. جلد دوم. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راه کارهای مقابله با بحران آب. دانشگاه زابل. ۱۸-۱۹ آسفند ۱۳۸۰. صفحه ۹۵-۸۰.
- ۷- گل کار حمزی یزد، ح. ر. ف. کاوه، ب. قهرمان، و ح. صدقی. ۱۳۸۶. بررسی روند تغییرات سری زمانی تبخیر- تعرق ماهیانه گیاه مرجع با استفاده از روش پیشنهادی فانو پنمن- مانتیس. علوم کشاورزی. ۴۳۳: ۴۱۷-۴۱۳ (ویژه‌نامه ۲).
- 7- Hobbins M.T., J.A. Ramirez, C.T. Brown. 1999. The complementary relationship on regional evapotraspiration. The CRAE Model and the advection-aridity approach. Hydrology Days 19:199-212.
- 8- Thomas, A. 2000. Climatic changes in yield index and soil water deficit trends in China. Agric. Forest Meteorol. 102:71-81.
- 9- Ghahraman, B., and S. Taghvaeian .2008. Investigation of annual rainfall trends in Iran. Journal of Agricultural Science and Technology 10: 93- 97.

فراسنج‌های اقلیمی توصیه می‌شود. در انتهای نمودارهای مربوط به روند سالانه‌ی تبخیر- تعرق، دما و بارندگی سالانه در ایستگاه سینوپتیک شیراز به عنوان نمونه ارایه شده اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دما و تبخیر- تعرق روند افزایشی و بارندگی روند کاهشی داشته است. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های بعدی تغییرات تبخیر- تعرق گیاهان در مناطق گوناگون ایران و با توجه به الگوی کشت و برای فصل‌های زراعی انجام گیرد.

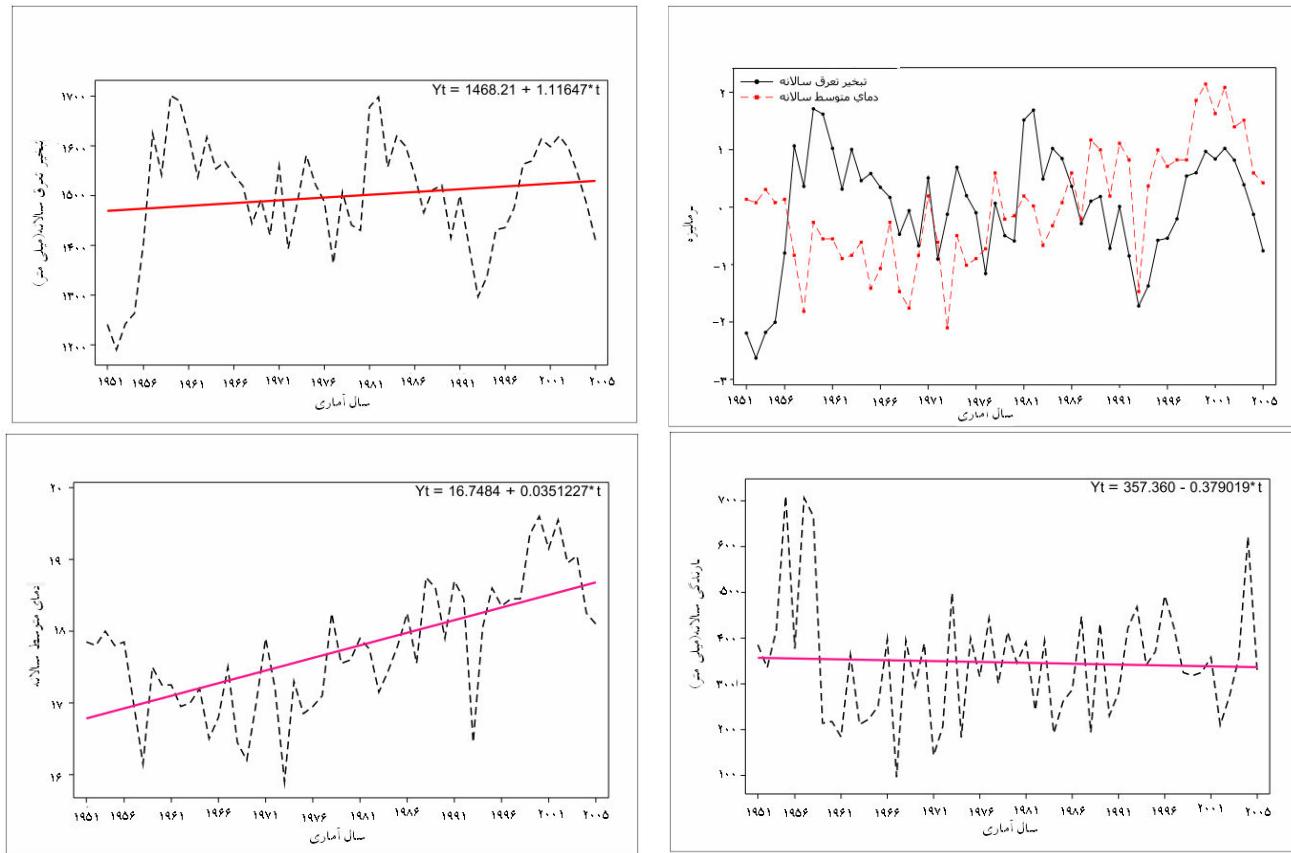
منابع

- ۱- رضیئی، ط. پ. دانش کارآراسته، و ب. ثقفیان. ۱۳۸۴. بررسی روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی ایران. مجله آب و فاضلاب. ۱۶: ۸۱-۷۳.
- ۲- شیرغلامی، ۵. ب. قهرمان، ا. علیزاده، و ج. بداق جمالی. ۱۳۸۳. بررسی روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع در ایران. پژوهش نامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان. ۲: ۲۷-۱۱.
- ۳- علیزاده، ا. ۱۳۷۸. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ هشتم. دانشگاه امام رضا(ع).
- ۴- قهرمان، ب. و ص. تقواییان. ۱۳۸۶. بررسی روند بارندگی سالانه در ایران. مجله بین المللی علوم و فنون کشاورزی ۹: ۹۷-۹۳.

پیوست‌ها



شکل ۱- ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در اقلیم نیمه خشک ایران.



شکل ۲- تغییرات تبخیر- تعرق گیاه مرجع، بارندگی و میانگین دمای سالانه در ایستگاه سینوپتیک شیراز.

جدول ۱- شبیب خط روند دراز مدت تبخیر- تعرق در سپتامبر در کل دوره‌ی آماری در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در اقلیم نیمه خشک ایران.

شبیب	ایستگاه	شبیب	ایستگاه
+ / ۰ ۰ ۶*	شهر کرد	- / ۰ ۰ ۳*	فسا
+ / ۰ ۱*	زنجان	- / ۰ ۰ ۰ ۲	مشهد
+ / ۰ ۰ ۰ ۸	اردبیل	- / ۰ ۰ ۳*	دزفول
+ / ۰ ۰ ۹*	ارومیه	- / ۰ ۰ ۰ ۸	شیراز
- / ۰ ۰ ۱	سنندج	- / ۰ ۰ ۱*	تبریز
- / ۰ ۰ ۱*	کرمانشاه	- / ۰ ۰ ۲*	قزوین
+ / ۰ ۰ ۱	خرم آباد	+ / ۰ ۰ ۰ ۸	اراک

*- معنی دار در سطح ۵ درصد

جدول ۲- درصد روند تغییرات تبخیر- تعرق ماهانه در ایستگاههای سینوپتیک مورد مطالعه در اقلیم نیمه خشک ایران.

مریعات خطأ				من- کندا				والد- ولفویتز				روش روند یابی	
بدون روند	منفی	ثبت	بدون روند	منفی	ثبت	بدون روند	منفی	ثبت	منفی	ثبت	منفی	ثبت	ماههای سال
۵۸	۲۱	۲۱	۵۶	۲۱	۲۱	۱۴	۰	۸۶	ژانویه				
۳۶	۲۸	۳۶	۳۶	۲۸	۳۶	۲۹	۰	۷۱	فوریه				
۵۰	۲۹	۲۱	۳۶	۴۳	۲۱	۲۱	۰	۷۹	مارس				
۵۷	۲۹	۱۴	۵۸	۲۸	۱۴	۷	۰	۹۳	آوریل				
۶۵	۲۱	۱۴	۶۴	۲۲	۱۴	۷	۰	۹۳	مای				
۵۰	۲۱	۲۹	۵۰	۲۱	۲۹	۰	۰	۱۰۰	جون				
۳۵	۲۹	۳۶	۵۰	۲۹	۲۱	۷	۰	۹۳	جولای				
۴۳	۳۶	۲۱	۳۶	۴۳	۲۱	۰	۰	۱۰۰	آگوست				
۴۳	۳۶	۲۱	۴۳	۴۳	۱۴	۷	۰	۹۳	سپتامبر				
۵۰	۲۹	۲۱	۵۰	۳۶	۱۴	۲۱	۰	۷۹	اکتبر				
۴۳	۳۶	۲۱	۵۰	۳۶	۱۴	۱۴	۰	۸۶	نوامبر				
۳۵	۳۶	۲۹	۳۶	۳۶	۲۸	۷	۰	۹۳	دسامبر				

جدول ۳- شیب خط روند درازمدت دما در کل دوره‌ی آماری در ایستگاههای سینوپتیک مورد مطالعه.

شیب	ایستگاه	شیب	ایستگاه
-۰/۰۲*	شهر کرد	-۰/۰۲	فسا
-۰/۰۱	زنجان	۰/۰۴*	مشهد
-۰/۰۳	اردبیل	۰/۰۰۴	دزفول
-۰/۰۴*	ارومید	۰/۰۳*	شیراز
-۰/۰۱	سنندج	۰/۰۳*	تبریز
۰/۰۳*	کرمانشاه	-۰/۰۰۱	قزوین
-۰/۰۴*	خرم آباد	-۰/۰۰۵	اراک

*- معنی دار در سطح ۵ درصد

جدول ۴- شیب خط روند درازمدت بارندگی در سپتامبر در کل دوره‌ی آماری در ایستگاههای سینوپتیک مورد مطالعه.

شیب	ایستگاه	شیب	ایستگاه
۰/۰۰۳	شهر کرد	۰/۰۱	فسا
-۰/۱	زنجان	۰/۰۴	مشهد
-۰/۱	اردبیل	-	دزفول
-۰/۰۹	ارومید	۰/۰۰۰۲	شیراز
۰/۰۰۰۵	سنندج	-۰/۱	تبریز
۰/۰۲	کرمانشاه	۰/۰۰۲	قزوین
-۰/۰۴	خرم آباد	-۰/۰۰۷	اراک

*- معنی دار در سطح ۵ درصد

جدول ۵- درصد روند تغییرات میانگین دمای ماهانه در ایستگاههای سینوپتیک مورد مطالعه در اقلیم نیمه‌خشک ایران.

مربعات خطا				من- کندال				والد- لفویتز				روش روندیابی
بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	ماههای سال
۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۹۳	۰	۷				ژانویه
۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰				فوریه
۹۳	۷	۰	۹۳	۷	۰	۹۳	۰	۷				مارس
۵۷	۰	۴۳	۵۷	۰	۴۳	۸۶	۰	۱۴				آوریل
۴۲	۲۹	۲۹	۴۲	۲۹	۲۹	۵۷	۰	۴۳				می
۵۰	۲۱	۲۹	۵۰	۲۱	۲۹	۷	۰	۹۳				جون
۵۰	۲۱	۲۹	۵۷	۱۴	۲۹	۲۹	۰	۷۱				جولای
۵۰	۲۱	۲۹	۵۰	۲۱	۲۹	۱۴	۰	۸۶				آگوست
۵۰	۲۱	۲۹	۵۰	۲۱	۲۹	۲۹	۰	۷۱				سپتامبر
۴۲	۲۹	۲۹	۵۷	۱۴	۲۹	۲۹	۰	۷۱				اکتبر
۶۵	۱۴	۲۱	۵۰	۲۱	۲۹	۸۶	۰	۱۴				نومبر
۷۹	۰	۲۱	۷۹	۰	۲۱	۹۳	۰	۷				دسامبر

جدول ۶- درصد روند تغییرات بارندگی ماهانه در ایستگاههای سینوپتیک مورد مطالعه در اقلیم نیمه‌خشک ایران.

مربعات خطا				من- کندال				والد- لفویتز				روش روندیابی
بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	ماههای سال
۸۶	۱۴	۰	۱۰۰	۰	۰	۸۶	۷	۷				ژانویه
۸۶	۱۴	۰	۹۳	۷	۰	۱۰۰	۰	۰				فوریه
۸۶	۷	۷	۸۶	۷	۷	۹۳	۰	۷				مارس
۸۶	۱۴	۰	۹۳	۷	۰	۶۴	۰	۳۶				آوریل
۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۹۳	۰	۷				می
۱۰۰	۰	۰	۸۶	۷	۷	۸۶	۰	۱۴				جون
۸۶	۰	۱۴	۷۹	۰	۲۱	۹۳	۰	۷				جولای
۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۷۱	۰	۲۹				آگوست
۱۰۰	۰	۰	۹۳	۰	۷	۹۳	۰	۷				سپتامبر
۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰				اکتبر
۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰				نومبر
۹۳	۰	۰	۹۳	۰	۷	۹۳	۰	۷				دسامبر