

## بررسی روند تغییرات فراسنج‌های آب و هوایی در اقلیم نیمه‌خشک ایران

هادی دهقان<sup>۱</sup>، علی اکبر عرب سلغار<sup>۲\*</sup> و فریدون کاوه<sup>۳</sup>

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

### چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند کشور ما، عمده‌ترین عامل مصرف منابع آب تبخیر-تعرق می‌باشد. لذا، آگاهی از تغییرات آن و سایر فراسنج‌های 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 دوماترین 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 خطا، من-کندال و والد-ولفویتز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تبخیر و تعرق گیاه مرجع با کاربرد روش فائو-پنمن-مونتیث محاسبه شده است. نتایج بررسی در کل دوره‌ی آماری نشان دادند که به طور میانگین برای فراسنج تبخیر-تعرق ۲۴ درصد ایستگاه‌ها روند مثبت، ۲۹ درصد منفی و ۴۷ درصد بدون روند می‌باشند. به گونه‌ی مشابه، برای فراسنج 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-کندال با روش کم‌ترین مربعات خطا، بیش‌تر مطابقت دارد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان اذعان کرد که برخی مناطق در سال‌های آینده با افزایش دما و تبخیر-تعرق روبه‌رو 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 مسوول مقاله: ali.arabsolghar@gmail.com

## پیشگفتار

تغییرات اقلیمی تأثیری زیاد بر چرخه‌ی آبشناسی و در نتیجه، بر منابع آب، فراوانی و شدت خشکسالی و سیل، محیط‌های طبیعی، جامعه و اقتصاد دارند. بی‌نظمی در منابع آب هنگام خشکسالی‌ها موجب بروز زیان‌های اجتماعی و اقتصادی زیادی می‌گردد که اغلب جبران آن‌ها سال‌ها به طول می‌انجامد. پدیده‌های عمده‌ی 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 فراسنج‌های اقلیمی انجام شده است. روی هم رفته، در مناطق گوناگون فراسنج‌های 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 کاهش می‌یابد. هم-چنین، 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 کاهش داشته است. در این مطالعه رابطه‌ی معنی‌دار بین روند تبخیر-تعرق و بارندگی برقرار نگردید (قهرمان 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 کاهش داشته است (توماس، ۲۰۰۰).

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

مرکزی و شرقی ایران مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که نشانه‌ای از بروز تغییرات اقلیمی در منطقه‌ی مورد مطالعه 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 کاهش معنی‌داری بوده است. از این‌رو، رویداد خشکسالی‌های پیاپی در این منطقه را می‌توان به روند کاهش بارش و افزایش دما نسبت داد.

گل‌کار و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی روند تغییرات گروه زمانی تبخیر-تعرق ماهانه‌ی گیاه مرجع با استفاده از روش فائو-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 فائو-پنمن-مانتیث محاسبه کرده و روند تغییرات زمانی این فراسنج را در مقیاس ماهانه برای هر ایستگاه در طول دوره‌ی آماری بلندمدت (۴۰ ساله) و کوتاه‌مدت (۲۰ ساله) با کاربرد روش معنی‌دار بودن شیب 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 دارای روند مثبت و ۶۲ درصد دارای روند منفی و در دوره‌ی آماری ۲۰ ساله، 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

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 عمده، بر این روش متکی شده و از دو روش دیگر نیز برای مقایسه استفاده شده است (قهرمان و شیرغلامی، ۱۳۸۴).

#### آزمون کم‌ترین مربعات خطا

روی هم رفته، در این روش عرض از مبدا و شیب خط وایازی را به وسیله‌ی کمینه‌کردن خطا بین دو متغیر مستقل (زمان،  $X$ ) و وابسته (مقدار فراسنج،  $Y$ ) بدست می‌آورند و سپس آماره‌ی  $t = \frac{b}{S_b}$  که در آن  $b$  عرض از مبدا 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 ۶۸٪ ایستگاهها روند مثبت و در ۳۲٪ روند منفی حاکم بوده است. در این حالت و در سطح معنی داری ۵ درصد، ۴۴، ۱۵ و ۴۱ 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.

کریم زاده و قهرمان (۱۳۸۰) روند تغییرات زمانی تبخیر- تعرق گیاه مرجع را طی دوره‌ی سی‌ساله‌ی ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ در ایستگاه سینوپتیک مشهد مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که تبخیر- تعرق گیاه مرجع از سال ۱۹۸۱ روند افزایشی معنی داری 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 عمده 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 تغییر 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 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) آماره‌ی  $R = \sum_{i=1}^{N-1} x_i x_{i+1} + x_1 x_N$  در صورتی که اعضای نمونه مستقل باشند، از توزیع بهنجار با میانگین و پراش زیر تبعیت می‌کند:

$$\bar{R} = (S_1^2 - S_2) / (N-1) \quad (۷)$$

$$Var(R) = (S_2^2 - S_4) / (N-1) - \bar{R}^2 + (S_1^4 - 4S_1^2 S_2 + 4S_1 S_3 + S_2^2 - 2S_4) / (N-1)(N-2) \quad (۸)$$

که در آن  $S_r = Nm'_r$  و  $m'_r$  گشتاور  $r$  ام نمونه حول مبدا است. مقدار  $u = \frac{R - \bar{R}}{\sqrt{V(R)}}$  از توزیع معیار (میانگین

صفر و پراش یک) تبعیت می‌کند و برای آزمون فرضیه‌ی استقلال در سطح  $\alpha$  می‌توان  $|u|$  را با  $\frac{u_{\alpha/2}}$  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 آن‌جا 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 مقدور 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  $t = b/s_b$  از  $t_{1-\alpha/2, n-2}$  از جدول t-student بزرگ‌تر باشد، فرض  $H_0$  رد خواهد شد که در این صورت شیب 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 برآزش گلمگروف-اسمرینوف استفاده کرده در صورتی که از تابع توزیع بهنجار یا گامبل و... تبعیت نماید، می‌توان از روش کم‌ترین مربعات خطا استفاده کرد.

### آزمون من-کندال

اگر  $y_t$  گروه مقادیر سالانه‌ی عامل مورد نظر (دما در این جا) به گونه‌ای که  $t=1, 2, \dots, N$  باشد ( $N$  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  $+1, 0, -1$  به ترتیب در ازای  $y'_t < y_t, y'_t = y_t, y'_t > y_t$  ساخته می‌شود به گونه‌ای که در آن  $K$  از رابطه‌ی ۴ محاسبه گردیده و آماره‌ی من-کندال ( $U_c$ ) از رابطه‌ی ۵ بدست می‌آید که در آن  $S$  مجموع  $Z_k$  ها،  $V(S)$  پراش  $S$  در رابطه-۶ بوده و مقدار  $m$  برحسب این که  $S$  منفی یا مثبت باشد،  $+1$  یا  $-1$  خواهد بود.

$$K = (t'-1)(2N-t')/2 + (t-t') \quad (۴)$$

$$u_c = \frac{S+m}{\sqrt{V(S)}} \quad (۵)$$

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[ N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^n e_i(e_i-1)(2e_i+5) \right] \quad (۶)$$

که در آن  $n$  تعداد گروه‌های جفتی و  $e_i$  تعداد مشاهده‌ها در  $i$  امین 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  $U_1 - \alpha/2$  چندک  $1 - \alpha/2$  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 ارائه شده است. چنانچه معنی‌دار بودن شیب‌ها مد نظر 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 معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشند، اما ۸ ایستگاه باقی‌مانده (۵۷٪) روند معنی‌داری 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 معنی‌داری مثبت در فوریه و جولای (۳۶٪) و کم‌ترین آن در آوریل و می (۱۴٪) مشاهده شده است. بیش‌ترین روند معنی‌داری 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 دومارتن) 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 شده 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-مانتیت که یکی از روش‌های معتبر تخمین تبخیر-تعرق می‌باشد، محاسبه شد (علیزاده ۱۳۷۸). بمنظور انجام آزمون روند، کلیه‌ی آزمون‌ها در محیط MATLAB برنامه‌نویسی شد و تمام برنامه‌ها مورد واسنجی قرار گرفتند. سپس، شیب خط و عرض از مبدا خطی که با کاربرد روش کم‌ترین مربعات خطا بدست آمده بود، معین گردید. بمنظور انجام آزمون معنی‌دار بودن شیب خط با عدد صفر، یا آزمون روند آماره‌ی  $t$  (معادله‌ی  $t = \frac{b}{S_b}$ ) محاسبه گردید. آزمون روند یا معنی‌دار 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، MATLAB و Excel 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 فراسنج میانگین دمای ماهانه، روند افزایش دما از آوریل شروع و تا پایان دسامبر ادامه دارد که مطابق با اوایل فروردین تا انتهای آذرماه می‌باشد. با توجه به این‌که 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-کندال)، تقریباً نتایج یکدیگر را تایید کردند (قهرمان و شیرغلامی، ۱۳۸۴). با توجه به این‌که 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 این‌که در روش‌های من-کندال و والد- ولفویتز طول دوره‌ی آماری بایستی پیوسته بوده و در بیش‌تر کشورها داده‌های مفقود وجود دارند، روش کم‌ترین مربعات خطا جهت محاسبه‌ی روند

در جدول ۳ ارائه 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 ارائه 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 (۱۰ ایستگاه) دیده شد. بیش‌ترین

۵- قهرمان، ب. و ه. شیر غلامی. ۱۳۸۴. بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۹: ۹-۲۵

۶- کریمزاده مقدم، م، و ب. قهرمان. ۱۳۸۰. نگرشی 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 اسفند ۱۳۸۰. صفحه ۹۵-۱۰۸.

۷- گل کار حمزبی 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 فائو پنمن- مانتیس. علوم کشاورزی. ۴۳۳- ۴۱۷: (ویژه نامه ۱۳(۲).

7- Hobbins M.T., J.A. Ramirez, C.T. Brown.1999. The complementary relationship on regional evapotranspiration. 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 انتها نمودارهای مربوط به روند سالانه‌ی تبخیر- تعرق، دما و بارندگی سالانه در ایستگاه سینوپتیک شیراز به عنوان نمونه ارایه شده اند. همان گونه 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

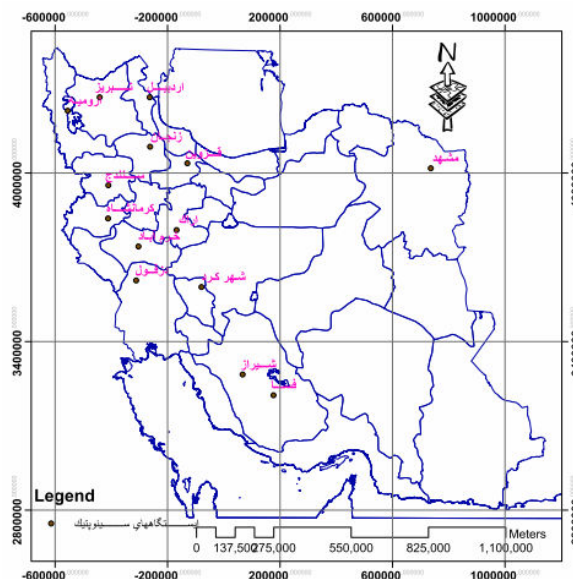
۱- رضیعی، ط، پ. دانش کارآراسته، و ب. ثقفیان. ۱۳۸۴. بررسی روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی ایران. مجله آب و فاضلاب. ۸۱-۷۳: ۱۶

۲- شیرغلامی، ه. ب. قهرمان، ا. علیزاده، و ج. بندق جمالی. ۱۳۸۳. بررسی روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع در ایران. پژوهش نامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر. ۲۷-۱۱: ۲

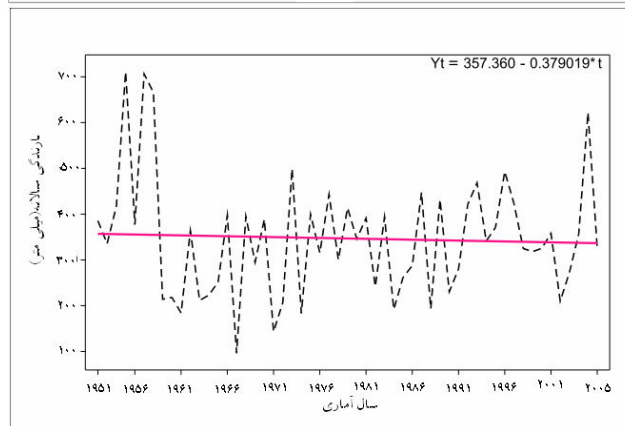
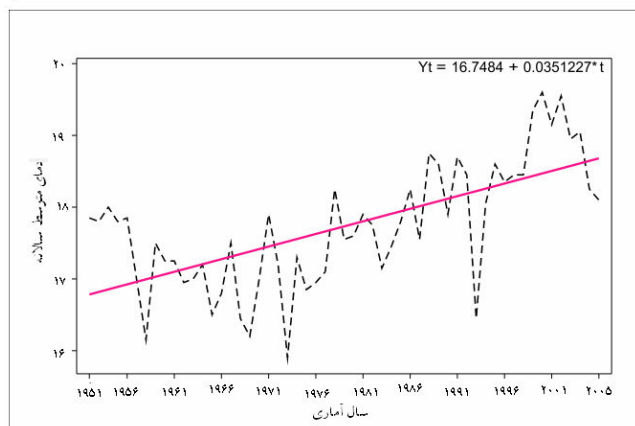
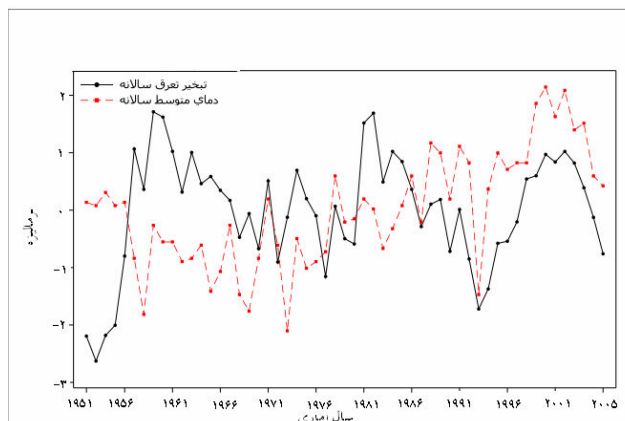
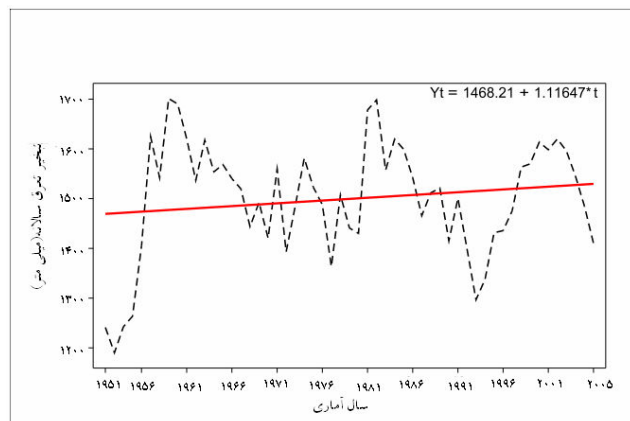
۳- علیزاده، ا. ۱۳۷۸. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ هشتم. دانشگاه امام رضا(ع). ۴۸۱.

۴- قهرمان، ب. و ص، تقواییان. ۱۳۸۶. بررسی روند بارندگی سالانه در ایران. مجله بین المللی علوم و فنون کشاورزی ۹۷-۹۳: ۹

### پیوست‌ها



شکل ۱- ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در اقلیم نیمه‌خشک ایران.



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

جدول ۱- شیب خط روند دراز مدت تبخیر- تفرق در سپتامبر در کل دوره آماری در ایستگاههای سینوپتیک مورد مطالعه در اقلیم نیمه خشک ایران.

شیب	ایستگاه	شیب	ایستگاه
۰/۰۰۶*	شهر کرد	- ۰/۰۳*	فسا
۰/۰۱*	زنجان	- ۰/۰۰۲	مشهد
۰/۰۰۰۸	اردبیل	- ۰/۰۳*	دزفول
۰/۰۰۹*	ارومیه	- ۰/۰۰۸	شیراز
- ۰/۰۱	سنندج	- ۰/۰۱*	تبریز
- ۰/۰۱*	کرمانشاه	- ۰/۰۲*	قزوین
۰/۰۰۱	خرم آباد	۰/۰۰۸	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.

ماه‌های سال	والد-ولفویتز			من- کندال			مربعات خطا	
	مثبت	منفی	بدون روند	مثبت	منفی	بدون روند	منفی	بدون روند
ژانویه	۸۶	۰	۱۴	۲۱	۲۱	۵۶	۲۱	۵۸
فوریه	۷۱	۰	۲۹	۳۶	۲۸	۳۶	۲۸	۳۶
مارس	۷۹	۰	۲۱	۲۱	۴۳	۳۶	۲۹	۵۰
آوریل	۹۳	۰	۷	۱۴	۲۸	۵۸	۲۹	۵۷
می	۹۳	۰	۷	۱۴	۲۲	۶۴	۲۱	۶۵
جون	۱۰۰	۰	۰	۲۹	۲۱	۵۰	۲۹	۵۰
جولای	۹۳	۰	۷	۲۱	۲۹	۵۰	۲۹	۳۵
اگوست	۱۰۰	۰	۰	۲۱	۴۳	۳۶	۳۶	۴۳
سپتامبر	۹۳	۰	۷	۱۴	۴۳	۴۳	۳۶	۴۳
اکتبر	۷۹	۰	۲۱	۱۴	۳۶	۵۰	۲۹	۵۰
نوامبر	۸۶	۰	۱۴	۱۴	۳۶	۵۰	۳۶	۴۳
دسامبر	۹۳	۰	۷	۲۸	۳۶	۳۶	۳۶	۳۵

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

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

\*- معنی‌دار در سطح ۵ درصد

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

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

\*- معنی‌دار در سطح ۵ درصد

بررسی روند تغییرات فراسنج‌های آب و هوایی در...

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

روش روندیابی	والد- ولفویترز			من- کندال			مربعات خطا		
	مثبت	منفی	بدون روند	مثبت	منفی	بدون روند	مثبت	منفی	بدون روند
ژانویه	۷	۰	۹۳	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰
فوریه	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰
مارس	۷	۰	۹۳	۷	۰	۹۳	۷	۰	۹۳
آوریل	۱۴	۰	۸۶	۴۳	۰	۵۷	۴۳	۰	۵۷
می	۴۳	۰	۵۷	۲۹	۲۹	۴۲	۲۹	۲۹	۴۲
جون	۹۳	۰	۷	۲۹	۲۹	۵۰	۲۹	۲۹	۵۰
جولای	۷۱	۰	۲۹	۲۹	۱۴	۵۷	۲۹	۲۹	۵۰
آگوست	۸۶	۰	۱۴	۲۹	۲۹	۵۰	۲۹	۲۹	۵۰
سپتامبر	۷۱	۰	۲۹	۲۹	۲۹	۵۰	۲۹	۲۹	۵۰
اکتبر	۷۱	۰	۲۹	۲۹	۱۴	۵۷	۲۹	۲۹	۴۲
نوامبر	۱۴	۰	۸۶	۲۹	۲۹	۵۰	۲۹	۱۴	۶۵
دسامبر	۷	۰	۹۳	۲۹	۲۹	۷۹	۲۹	۲۹	۷۹

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

روش روندیابی	والد- ولفویترز			من- کندال			مربعات خطا		
	مثبت	منفی	بدون روند	مثبت	منفی	بدون روند	مثبت	منفی	بدون روند
ژانویه	۷	۷	۸۶	۰	۰	۱۰۰	۰	۱۴	۸۶
فوریه	۰	۰	۱۰۰	۰	۷	۹۳	۰	۱۴	۸۶
مارس	۷	۰	۹۳	۷	۷	۸۶	۷	۷	۸۶
آوریل	۳۶	۰	۶۴	۷	۰	۹۳	۷	۱۴	۸۶
می	۷	۰	۹۳	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰
جون	۱۴	۰	۸۶	۷	۷	۸۶	۷	۰	۱۰۰
جولای	۷	۰	۹۳	۲۹	۰	۷۹	۱۴	۰	۸۶
آگوست	۲۹	۰	۷۱	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰
سپتامبر	۷	۰	۹۳	۷	۰	۹۳	۰	۰	۱۰۰
اکتبر	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰
نوامبر	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰
دسامبر	۷	۰	۹۳	۷	۰	۹۳	۰	۰	۹۳