



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی

سال یازدهم، شماره‌ی ۳۴
تابستان ۱۳۹۰، صفحات ۲۸۶-۲۶۰

یعقوب دین‌پژوه^۱

تجزیه و تحلیل روند تغییرات زمانی تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع (مطالعه موردی: ایستگاه همدان)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۰۹/۱۵

چکیده

هدف اصلی این مطالعه، تجزیه و تحلیل روند تغییرات زمانی تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0) در ایستگاه همدان (نوژه) است. برای این منظور از اطلاعات این ایستگاه در دوره آماری ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ استفاده شد. میزان ET_0 با روش پنمن-مانتیس (PM) محاسبه شد. برای تجزیه و تحلیل روند از دو روش شامل الف) برازش خط مستقیم بررسی زمانی و محاسبه شیب خط روند با روش حداقل مربعات و ب) آزمون من-کندال و محاسبه شیب خط روند با روش Sen's estimator استفاده شد. برای تحلیل حساسیت ET_0 به پارامترهای هواشناسی از روش رگرسیون چندگانه خطی گام به گام استفاده شد. نتایج نشان داد که کم‌ترین مقدار ET_0 در ماه ژانویه و بیشترین آن (معادل ۷/۲ میلی‌متر بر روز) در ژوئیه اتفاق می‌افتد. شیب خط روند در

Email: dinpashoh@yahoo.com

۱- تبریز، دانشگاه تبریز، گروه مهندسی آب.

تمام ماه‌های سال (به جز ژانویه و فوریه) مثبت بود. در شش ماهه گرم سال شیب خط روند از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی دار بود. بیشترین مقدار شیب خط روند در ژوئیه مشاهده شد که در سطح یک درصد معنی دار بود. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که در ماه‌های گرم سال سرعت باد و درجه حرارت حداکثر هوا به ترتیب مهم‌ترین عوامل موثر بر ET_0 بودند.

کلید واژه‌ها: پنمن - مانتیس، رگرسیون، روند، همدان، تبخیر و تعرق، مان - کندال.

مقدمه

گرم شدن دمای هوا در کره زمین که ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای است، می‌تواند منجر به تغییرات شدید در توزیع مکانی و زمانی منابع آب و چرخه آب جهانی شود. یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در تغییر اقلیم یک منطقه تغییر در میزان تبخیر - تعرق آن ناحیه می‌باشد. تاکنون مطالعات انجام شده بیشتر روی روند تغییرات متغیرهای مربوط به دمای هوا، بارش و جریان آبراهه‌ای متمرکز بوده و روند تغییرات نیاز آبی گیاهان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بورن و هش (۲۰۰۷) روند سری داده‌های مربوط به تبخیر از تشتک را در ۴۸ ایستگاه کانادا مورد مطالعه قرار دادند. روند تغییرات ET_0 در منطقه خشک شمال شرق نیجریه توسط هس (۱۹۹۸) مطالعه شد. او روش PM را که در سال‌های اخیر مورد قبول و استفاده اغلب دانشمندان جهان قرار گرفته است، برای تخمین ET_0 مورد استفاده قرار داد. وی نشان داد که افزایش دمای هوای ایستگاه‌های مورد مطالعه به اندازه‌ای نبوده که روی ET_0 منطقه تأثیر معنی دار داشته باشد. زو و همکاران (۲۰۰۶) روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع و تبخیر از تشت را در حوضه رودخانه یانگ تسه در چین مطالعه کردند. شن بین و همکاران (۲۰۰۶) روند تبخیر- تعرق پتانسیل را در ناحیه تایب تان در چین مطالعه کردند. آنها برای ۲۴ ایستگاه از ۱۰۱ ایستگاه هواشناسی ناحیه تایب تان چین روند تبخیر- تعرق پتانسیل را افزایشی و شیب ۱۲ میلی‌متر در هر ده سال را گزارش کرده است. یو و همکاران (۲۰۰۲) اثر تغییر اقلیم را روی تبخیر- تعرق در جنوب تایوان مطالعه کردند. اخیراً باندیو پادیای و همکاران (۲۰۰۹) و

جاجاریا و همکاران (۲۰۰۹) روند تغییرات تبخیر از تشت و ET_0 منطقه شمال شرق هند و کل شبه قاره هند را مطالعه کردند. نتایج هر دو مطالعه حاکی از کاهش دو متغیر مذکور در هند است.

در کشور ما نیز اغلب مطالعات بررسی روند روی متغیرهای دما و بارش متمرکز بوده است. مثلاً روند افزایش متوسط سالانه دمای هوا در ۳۴ ایستگاه هواشناسی کشور از جمله ایستگاه همدان توسط قهرمان (۲۰۰۶) مطالعه شده است. نتایج مطالعه ایشان حاکی از این است که روند تغییرات دما در دوره آماری مشترک (۱۹۹۸-۱۹۶۸) و در بیش از ۶۵ درصد از ایستگاه‌ها مثبت بود با این حال ۳۲ درصد از ایستگاه‌ها دارای روند منفی و در سه درصد بقیه روند مشاهده نشده است. همچنین روند تغییرات سری‌های زمانی بارش در جنوب و جنوبغرب کشور طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۹ نشان داد بارش سالانه بعد از سال ۱۹۷۵ در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش داشته است (ناظم‌السادات و همکاران ۱۳۸۴). روند تغییرات بارش‌های ماهانه و سالانه و تعداد روزهای همراه با بارندگی در ۲۰ ایستگاه خشک و نیمه خشک کشور توسط مدرس و سیلوا (۲۰۰۷) مطالعه شده است. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که سری‌های مذکور در غالب ایستگاه‌ها فاقد روند معنی دار و در برخی ایستگاه‌ها دارای روند مثبت و در برخی دیگر دارای روند منفی است. خیرابی و همکاران (۱۳۷۶) ضمن تشریح روش PM بر اساس آمار محدود میزان تغییرات ET_0 را در ۴۶ ایستگاه کشور از جمله همدان مطالعه کردند. به نظر می‌رسد که تاکنون روند تغییرات ET_0 در ایستگاه‌های کشور مورد مطالعه دقیق واقع نشده است.

هدف اصلی این پژوهش، مطالعه روند تغییرات زمانی میزان ET_0 (به روش PM) و بررسی مهم‌ترین متغیر (های) موثر بر ET_0 در ایستگاه همدان (نوزه) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ناحیه مورد مطالعه ایستگاه همدان (پایگاه نوزه) است. این ایستگاه در موقعیت عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و

ارتفاع ۱۶۸۰ متر از سطح دریا قرار دارد. میانگین بارش سالانه این ایستگاه حدود ۳۳۹ میلی‌متر، تعداد روزهای با میانگین دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد حدود ۱۳۷ روز و میانگین سالانه درجه - روز بر مبنای دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد حدود ۲۹۸۸ می‌باشد. داده‌های مورد نیاز برای محاسبه میزان ET_0 ماهانه از سالنامه‌های هواشناسی به دست آمد که در پرپود آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۵ برای محاسبه ET_0 با روش PM استفاده شد. در این مطالعه برای تخمین ET_0 با روش PM از متغیرهای هواشناسی به شرح جدول ۱ استفاده شد. ارقام سرعت باد با استفاده از رابطه زیر (نانداگیری و کوور، ۲۰۰۵ و شن بین و همکاران، ۲۰۰۶) به مبنای ارتفاع دو متر تبدیل شدند.

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z_w - 5.42)} \quad (۱)$$

که در آن u_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری به متر بر ثانیه، u_z سرعت باد در هر ارتفاع مورد نظر به متر بر ثانیه و z_w ارتفاع باد سنج به متر (اینجا معادل با ۱۰ متر و برابر با ارتفاع دکل‌های بادسنج در ایستگاه‌های سینوپتیک) می‌باشد.

جدول ۱: متغیرهای هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه

نام متغیر	علامت اختصاری	واحد
متوسط حداقل دمای هوا	T_{min}	درجه سانتی‌گراد
متوسط حداکثر دمای هوا	T_{max}	درجه سانتی‌گراد
میانگین دمای هوا		درجه سانتی‌گراد
متوسط سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین	U_z	نایت
متوسط حداقل درصد رطوبت نسبی هوا	RH_{min}	بی بعد
متوسط حداکثر درصد رطوبت نسبی هوا	RH_{max}	بی بعد
تعداد ساعات آفتابی مشاهده شده در یک روز و برای ماه معین	n	ساعت

برای محاسبه ET_0 با روش PM از رابطه زیر (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) استفاده شد:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{\bar{T} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع به میلی‌متر بر روز، R_n تابش خالص بر سطح گیاه به $MJ/(m^2 day)$ ، G جریان گرمای خاک به $MJ/(m^2 day)$ ، T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح خاک به $^{\circ}C$ ، e_s فشار بخار اشباع هوا به kPa ، e_a فشار بخار واقعی هوا به kPa ، $(e_s - e_a)$ کمبود فشار بخار اشباع به kPa ، Δ شیب منحنی فشار بخار تابعی از درجه حرارت به $kPa/^{\circ}C$ و γ ثابت سایکرومتر می‌باشد. برای محاسبه پارامترهای روش PM روابط متعددی گزارش شده است (شاتلورث، ۱۹۹۳ و نانداگیری و کوور، ۲۰۰۵) در این مطالعه برای محاسبه e_s از رابطه زیر استفاده شد:

$$e_s = \frac{e^0(T_{\max}) + e^0(T_{\min})}{2} \quad (3)$$

که در آن $e^0(T_{\max})$ و $e^0(T_{\min})$ از رابطه زیر به دست آمدند:

$$e^0(T^*) = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27T^*}{T^* + 237.3}\right] \quad (4)$$

که در آن به جای T^* هر یک از مقادیر $T_{\max}$ یا $T_{\min}$ قرار داده شدند.

برای محاسبه فشار بخار واقعی هوا (e_a) از رابطه زیر استفاده شد:

$$e_a = \frac{\left[e^0(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100} + e^0(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100} \right]}{2} \quad (5)$$

برای محاسبه شیب منحنی فشار بخار آب در هوا تابعی از درجه حرارت از رابطه زیر استفاده شد:

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp\left(\frac{17.27\bar{T}}{\bar{T} + 237.3}\right) \right]}{(\bar{T} + 237.3)^2} \quad (6)$$

که در آن $\bar{T}$ میانگین دمای هوا و از رابطه زیر به دست آمد:

$$\bar{T} = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \quad (۷)$$

برای محاسبه ثابت سایکرومتر γ از رابطه زیر استفاده شد:

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} p \quad (۸)$$

که در آن p فشار اتمسفر به kPa است که از رابطه زیر برآورد شد:

$$p = 101.3 \left[\frac{293 - 0.0065z}{293} \right]^{5.76} \quad (۹)$$

که در آن z ارتفاع ایستگاه به متر است. منبع اصلی تأمین انرژی برای تبخیر و تعرق تابش خالص آفتاب بر روی سطح گیاه (R_n) می باشد که برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده شد:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (۱۰)$$

که در آن R_{nl} و R_{ns} به ترتیب تابش خالص خورشیدی با طول موج کوتاه و بلند به $\text{MJ}/(\text{m}^2 \text{ day})$ می باشند. روش های محاسبه تابش خالص خورشیدی با طول موج کوتاه بسته به انواع دستگاه های اندازه گیری تابش متفاوت است. در این مطالعه مقدار R_{ns} با استفاده از داده های اندازه گیری شده در مورد تعداد ساعات آفتابی واقعی یا n به دست آمد. برای این منظور از تابش های با طول موج کوتاه جذب شده و منعکس شده توسط سطح گیاه مرجع به شرح زیر استفاده شد:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (۱۱)$$

که در آن R_s تابش خورشیدی با طول موج کوتاه رسیده از خورشید به سطح گیاه و α ضریب انعکاس یا آلبدوی کنوپی گیاه می باشد. طبق توصیه FAO-56 مقدار α برای گیاه چمن سبز معادل 0.23 فرض شد. تابش خورشیدی با طول موج کوتاه رسیده از خورشید به سطح گیاه یا R_s از رابطه زیر به دست آمد:

$$R_s = (0.25 + 0.5 \frac{n}{N}) R_a \quad (12)$$

که در آن R_a مقدار تابش خورشیدی رسیده به بالای جو زمین به $\text{MJ}/(\text{m}^2 \text{ day})$ و N حداکثر تعداد ساعات آفتابی ممکن که با توجه به زمان (ماه) و عرض جغرافیایی محل از رابطه زیر به دست آمد:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (13)$$

که در آن ω_s زاویه اشعه‌های خورشید با افق هنگام غروب آفتاب به رادیان که از رابطه زیر به دست آمد:

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \times \tan \delta) \quad (14)$$

که در آن φ عرض جغرافیایی محل به رادیان و δ زاویه میل خورشیدی به رادیان بوده و برای هر روز معین از سال (روز بر مبنای اول ماه ژانویه)، J از رابطه زیر به دست آمد:

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi J}{365} - 1.39\right) \quad (15)$$

R_a مقدار تابش خورشیدی رسیده به بالای جو زمین به $\text{MJ}/(\text{m}^2 \text{ day})$ می‌باشد که از رابطه زیر به دست آمد:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s] \quad (16)$$

که در آن G_{sc} ثابت خورشیدی (معادل با 0.082 و بر حسب $\text{MJ}/(\text{m}^2 \text{ min})$) و d_r و d_r عکس فاصله نسبی زمین تا خورشید است که از رابطه زیر به دست آمد:

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi J}{365}\right) \quad (17)$$

تابش خالص خورشیدی با طول موج بلند، R_{nl} ، به $\text{MJ}/(\text{m}^2 \text{ day})$ از رابطه زیر به دست آمد:

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{T_{\max k}^4 - T_{\min k}^4}{2} \right) \times (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \times (1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35) \quad (18)$$

که در آن σ ثابت استفان- بولتزمن و معادل با $4/903 \times 10^9$ MJ/ (K4 m2 day) است و $T_{\max}$ و k و $T_{\min}$ به ترتیب حداکثر و حداقل دمای هوا به درجه کلوین و R_{so} تابش‌های با طول موج کوتاه در آسمان صاف به MJ/ (m2 day) می‌باشد که از رابطه زیر به دست آمد:

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (19)$$

برای محاسبه جریان گرمای خاک، G ، از رابطه زیر استفاده شد:

$$G = 0.14(T_i - T_{i-1}) \quad (20)$$

که در آن T_i میانگین دمای هوا در ماه i ام و T_{i-1} میانگین دمای هوا در ماه $i-1$ ام می‌باشد. برای محاسبات در مقیاس ماهانه مقدار روز J برای وسط ماه از رابطه زیر به دست آمد:

$$J = \text{INTEGER}(30.4J_1 - 15) \quad (21)$$

که در آن J_1 شماره ماه ($J_1=1,2,\dots,12$) می‌باشد.

در این مطالعه محاسبات مربوط به تخمین ET_0 با روش PM در مقیاس ماهانه با تنظیم و اجرای برنامه کامپیوتری تحت نام pm.f90 در محیط فرترن ۹۰ انجام شد.

سری‌های مربوط به ارقام ET_0 ماهانه برای ایستگاه همدان (نوزده) مورد آزمون روند قرار گرفت. این کار با دو روش ناپارامتری من - کندال و روش پارامتری‌اتی تست انجام شد. برای روش اول در زبان Matlab برنامه نوشته شد و برای روش دوم از نرم افزار SPSS استفاده شد. در روش اول یا روش MK فرض صفر و فرض مخالف به شرح زیر در نظر گرفته شدند:

$$\begin{aligned} H_0 &= P_r(x_j > x_i) = 0.5, \dots, j > i \\ H_A &= P_r(x_j > x_i) \neq 0.5, \dots, j > i \end{aligned} \quad (22)$$

ابتدا داده‌ها به ترتیب صعودی مرتب شدند. سپس علامت اختلاف هر زوج از داده‌ها در سری مرتب شده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1, \dots, \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0, \dots, \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1, \dots, \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (23)$$

که در آن $j > i$ و $\text{sgn}(\cdot)$ تابع علامت می‌باشد. سپس آماره S از رابطه زیر محاسبه شد:

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (24)$$

که در آن n تعداد کل داده‌ها می‌باشد. آنگاه آماره Z از رابطه زیر برآورد شد:

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{[\text{var}(s)]^{\frac{1}{2}}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{[\text{var}(s)]^{\frac{1}{2}}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (25)$$

که در آن مقدار $\text{var}(s)$ از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{var}(s) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad \text{اگر } n > 10 \quad (26)$$

که در آن q تعداد دسته عددهای مساوی هم موجود در یک سری داده به تعداد n و t_p تعداد داده‌های مساوی هم در دسته p می‌باشد. آماره Z دارای توزیع نرمال بوده و با مقدار Z استاندارد نرمال مقایسه می‌شود. مقدار مثبت برای آماره Z نشان دهنده روند مثبت و مقدار منفی نشان دهنده روند منفی در بین سری زمانی می‌باشد. در آزمون دو طرفه اگر در سطح معنی داری مورد نظر قدر مطلق آماره Z محاسبه شده از $Z_{\alpha/2}$ بزرگ‌تر می‌شد فرض صفر رد می‌شد. در غیر این صورت فرض صفر مورد قبول واقع می‌شد. این روش به طور وسیعی در مطالعات مربوط به روند متغیرهای اقلیمی استفاده شده است (یو و همکاران، ۲۰۰۲؛ مدرس و سیلوا، ۲۰۰۷؛ جاجاریا و همکاران، ۲۰۰۹؛ و باندیو پادیای و همکاران، ۲۰۰۹). شیب خط روند با استفاده از روش ناپارامتری Sen's estimator به شرح زیر تخمین زده شد (هرش و همکاران، ۱۹۸۲):

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{(X_j - X_i)}{(j-i)} \right] \quad \text{for all } i < j \quad (27)$$

که در آن X_i و X_j به ترتیب نشان دهنده داده‌های مورد نظر در زمان‌های i و j می‌باشند. روش دوم با برازش دادن خط مستقیم بر روی داده‌های سری و آزمون معنی داری شیب خط با t -test (محلوجی، ۱۳۸۳) انجام شد. برای این کار ابتدا معادله خط به صورت زیر در نظر گرفته شد:

$$\hat{y} = a + bx \quad (28)$$

که در آن y متغیر وابسته (میزان تبخیر-تغرق ماهانه تخمینی و x متغیر مستقل (سال) و a عرض از مبدا و b شیب خط می‌باشد. ابتدا مقدار شیب خط با استفاده از روش حداقل مربعات از رابطه زیر تخمین زده شد:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (29)$$

که در آن $\bar{x}$ و $\bar{y}$ بترتیب میانگین مقادیر سری های x و y می‌باشند. سپس مقدار a عرض از مبدا از رابطه زیر تخمین زده شد:

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (30)$$

فرض مربوط به معنی داری شیب خط روند پذیرفته می‌شد اگر شرط زیر برقرار می‌شد:

$$\left| \frac{b}{S_{y|x} \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}} \right| > t_{\alpha/2; n-2} \quad (31)$$

که در آن مقادیر t در سطح معنی داری $\alpha/2$ و درجه آزادی $n-2$ از جدول (محلوجی، ۱۳۸۳) استخراج و $S_{y|x}$ از رابطه زیر محاسبه شد:

$$S_{y|x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}} \quad (32)$$

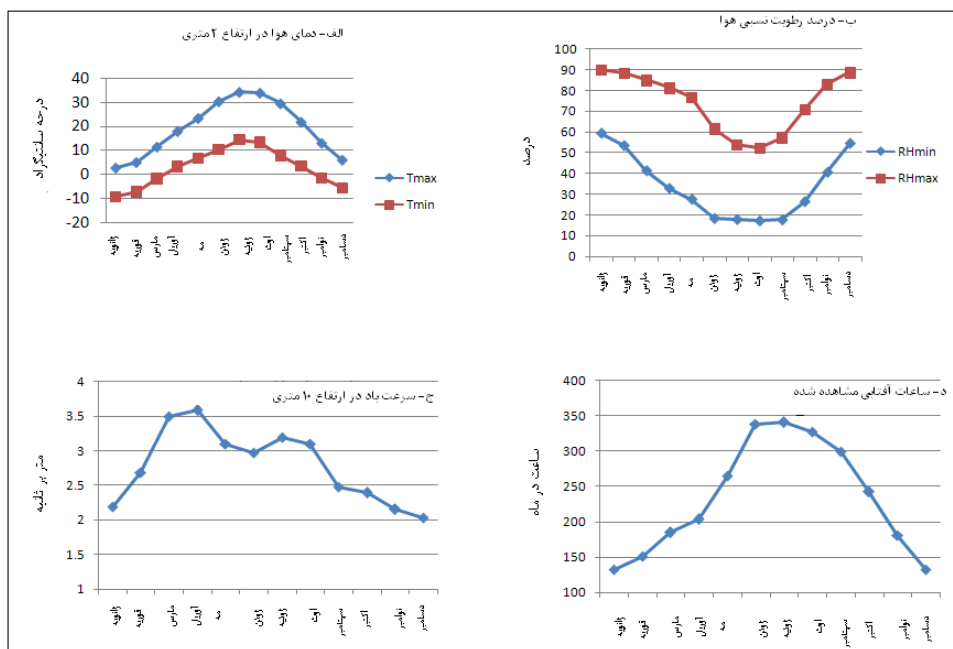
این روش نیز توسط دانشمندان مختلف در مطالعات مشابه به کار گرفته شده است (چاتوپادیای و هولم، ۱۹۹۷؛ یو و همکاران، ۲۰۰۲؛ قهرمان، ۲۰۰۶؛ قهرمان و تقواییان، ۲۰۰۸؛ و جاجاریا و همکاران، ۲۰۰۹). برای تعیین مهم‌ترین عوامل هواشناسی موثر بر روی ET_0 ماهانه همدان از روش رگرسیون چندگانه خطی گام به گام استفاده شد. از این روش جاجاریا

و همکاران (۲۰۰۹) و باندیو پادیای و همکاران (۲۰۰۹) به ترتیب مهم‌ترین عوامل هواشناسی موثر بر روی تبخیر از تشت و ET_0 را در شمال شرق هند و کل کشور هند مطالعه کرده‌اند.

نتایج و بحث

نمودار ۱ منحنی تغییرات میانگین هر یک از شش متغیر مورد استفاده در تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع را در ایستگاه همدان (نوزده) به روش PM نشان می‌دهد. به طوری که از نمودار ۱ (الف) می‌توان استنباط کرد، منحنی تغییرات مربوط به میانگین هر دو متغیر مربوط به دما در طول سال از ژانویه تا ژوئیه به تدریج افزایش و سپس از ژوئیه تا دسامبر کاهش می‌یابد. در گرم‌ترین ماه سال میانگین حداکثر دمای هوای همدان به حدود ۳۴ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. اما در سردترین ماه سال این رقم به حدود ۲/۷ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. در گرم‌ترین ماه سال میانگین حداقل دمای هوای همدان به حدود ۱۴ و در سردترین ماه سال این رقم به کمتر از منهای ۹ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. میانگین مربوط به هر دو متغیر حداکثر و حداقل رطوبت نسبی هوا (از ژانویه تا ماه اوت) به تدریج کاهش و سپس افزایش می‌یابد (نمودار ۱-ب). بنابراین، رطوبت نسبی هوای همدان با دمای هوا نسبت عکس دارد. به عبارت بهتر در گرم‌ترین ماه‌ها رطوبت نسبی هوا به حداقل مقدار خود می‌رسد و برعکس در ماه‌های سرد رطوبت هوا افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار حداکثر رطوبت نسبی هوا در ماه ژانویه و حدود ۹۰ درصد است، در حالی که کم‌ترین مقدار حداکثر رطوبت نسبی هوا در ماه اوت و حدود ۵۲ درصد است. همچنین حداقل رطوبت نسبی هوا در ماه ژانویه به حداکثر مقدار خود و حدود ۵۹ درصد می‌رسد در حالی که کم‌ترین مقدار آن در ماه سپتامبر به حدود ۱۷ درصد کاهش می‌یابد (نمودار ۱-ب). میانگین سرعت باد در همدان و در ارتفاع ۱۰ متری بین ۲ متر بر ثانیه در ماه دسامبر تا ۳/۲ متر بر ثانیه در ماه آوریل تغییر می‌کند (نمودار ۱-ج). با این حال گرادیان تغییرات سرعت در ماه‌های مختلف سال ثابت نیست. گرادیان تغییرات سرعت باد ایستگاه همدان از ژانویه تا مارس به سرعت افزایش می‌یابد. در صورتی که در

فصل بهار سرعت باد سیر نزولی و در تابستان به طور ملایم سیر صعودی دارد. سرعت باد در اواخر تابستان به تدریج کاهش یافته، طوری که در اواخر پاییز به حداقل میزان خود می‌رسد. الگوی تغییرات تعداد ساعات آفتابی همدان تقریباً مشابه تغییرات درجه حرارت هوای این ایستگاه است (نمودارهای ۱-الف و ۱-د). میانگین تعداد ساعات آفتابی همدان از ۱۳۳ ساعت در سردترین ماه سال (ژانویه) تا ۳۴۰ ساعت در ماه ژوئیه تغییر می‌کند (نمودار ۱-د). الگوی منحنی تغییرات ساعات آفتابی همدان دارای نمودار نامتقارن است. به طوری که از نمودار مذکور می‌توان استنباط کرد مجموع تعداد ساعات آفتابی در نیمه دوم سال بیش از مجموع تعداد ساعات آفتابی در نیمه اول سال می‌باشد. تعداد ساعات آفتابی همدان در ۶ ماه اول سال با شیب قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. با این حال نوسانات تعداد ساعات آفتابی در طول سه ماه تابستان ناچیز است. از اواخر تابستان به تدریج تعداد ساعات آفتابی کاهش می‌یابد. آهنگ کاهش در ابتدا کم و سپس زیاد می‌شود. ساعات آفتابی همدان در ماه ژانویه به حداقل مقدار خود می‌رسد. نمودار ۲ میانگین ماهانه مقادیر ET_0 به روش PM را در ایستگاه همدان نشان می‌دهد. به طوری که از این نمودار می‌توان استنباط کرد که مقدار ET_0 این ایستگاه از کمتر از یک میلی‌متر بر روز در ماه ژانویه تا حداکثر ۷/۲ میلی‌متر بر روز در ماه ژوئیه تغییر می‌کند. این نتایج با ارقام ارائه شده توسط خیرابی و همکاران (۱۳۷۶) که با اطلاعات ۲۶ سال میزان مقادیر ET_0 به روش PM را در ایستگاه نوزه به دست آورده‌اند، همخوانی دارد. نامبردگان حداکثر مقدار ET_0 را در این ایستگاه معادل ۶/۱ میلی‌متر بر روز گزارش کرده‌اند که حدود ۰/۶ میلی‌متر بر روز کمتر از نتایج مطالعه حاضر می‌باشد. با توجه به اینکه در ایستگاه همدان حداقل مقدار دمای هوا و تعداد ساعات آفتابی در ماه ژانویه اتفاق می‌افتد (نمودارهای ۱-الف و ۱-د) و از طرفی در این ماه مقدار رطوبت نسبی هوا در مقایسه با سایر ماه‌ها در حداکثر مقدار خود می‌باشد (نمودار ۱-ب)، بنابراین انتظار می‌رود که میزان ET_0 در ماه ژانویه به کم‌ترین مقدار خود برسد.

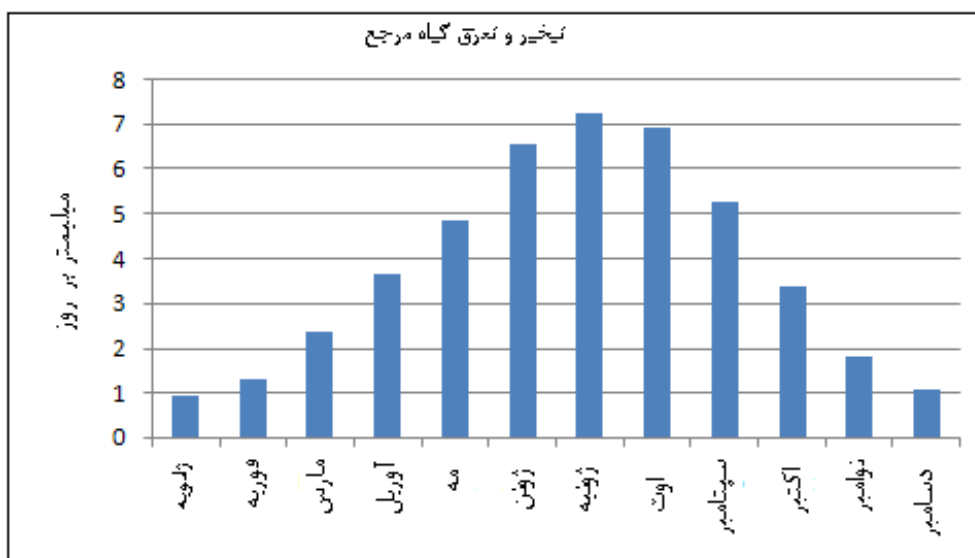


نمودار ۱: میانگین متغیرهای هواشناسی مورد استفاده در محاسبه ET_0 به روش PM در همدان (۱۹۵۱-۲۰۰۵).

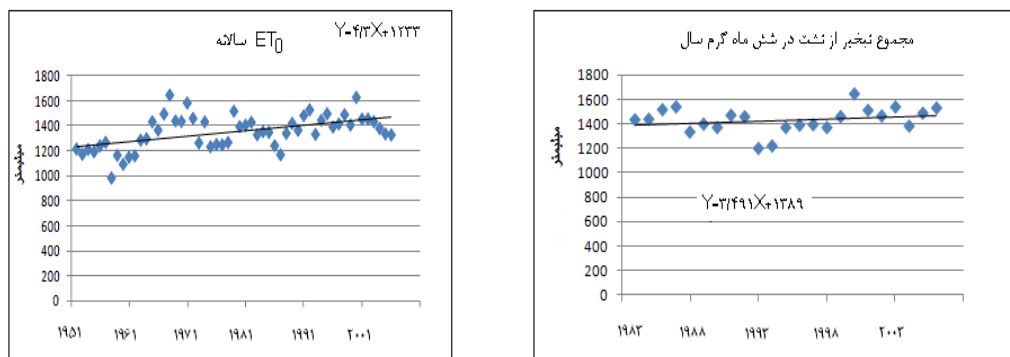
گرچه تبخیر- تعرق تابعی غیرخطی و پیچیده از متغیرهای مختلف هواشناسی است، با این حال می‌توان استنباط کرد که در همدان از آنجا که در گرم‌ترین ماه سال (ژوئیه) دمای هوا و تعداد ساعات آفتابی حداکثر مقدار خود را در سال دارا می‌باشند (نمودارهای ۱-الف و ۱-د) و از طرفی در این ماه مقدار رطوبت نسبی هوا در مقایسه با سایر ماه‌ها در حداقل مقدار خود بوده (نمودار ۱-ب) و سرعت باد نیز بیش از ۳ متر بر ثانیه است، بنابراین میزان ET_0 در ماه ژوئیه ممکن است به حداکثر مقدار خود برسد. بررسی میانگین مقدار تبخیر از تشش (E_{pan}) در دوره آماری قابل دسترس (۱۹۸۳-۲۰۰۵) در همدان نشان می‌دهد که مقدار E_{pan} در ماه ژوئیه به حداکثر مقدار خود معادل ۱۰/۶ میلی‌متر بر روز می‌رسد که حدود ۳/۳ میلی‌متر بیش از مقدار ET_0 همان ماه می‌باشد. در ماه‌های دیگر این اختلاف کمتر از رقم مذکور است. لازم به ذکر است که در همدان و در ۶ ماه سرد سال به علت یخبندان آمار E_{pan} یا اندازه‌گیری نشده و

یا در صورت اندازه گیری چندان قابل استناد نبوده است. بنابراین، در ادامه فقط آمار E_{Pan} مربوط به شش ماه متوالی (مه تا اکتبر) بررسی شد.

نمودار ۳ روند تغییرات ET_0 سالانه همدان و نیز مقدار تبخیر از تشت را با روش رگرسیون خطی نشان می‌دهد. در این شکل‌ها خط روند نیز روی نقاط داده‌ها نشان داده شده است. به طوری که از این نمودارها می‌توان استنباط کرد، روند داده‌های سالانه هم برای ET_0 و هم برای E_{Pan} رو به بالا است. در مورد سری ET_0 سالانه همدان شیب خط روند حدود ۴۳ میلی‌متر در هر ده سال است. این رقم برای تبخیر از تشت حدود ۳۵ میلی‌متر در هر ده سال است. شیب خط روند برای هر دو سری با آزمونی - استیودنت در سطح ۱ درصد معنی دار بود. بنابراین می‌توان استنباط کرد که هم تبخیر از تشت و هم تبخیر-تعرق سالانه در همدان در طول زمان سیر افزایشی دارد.

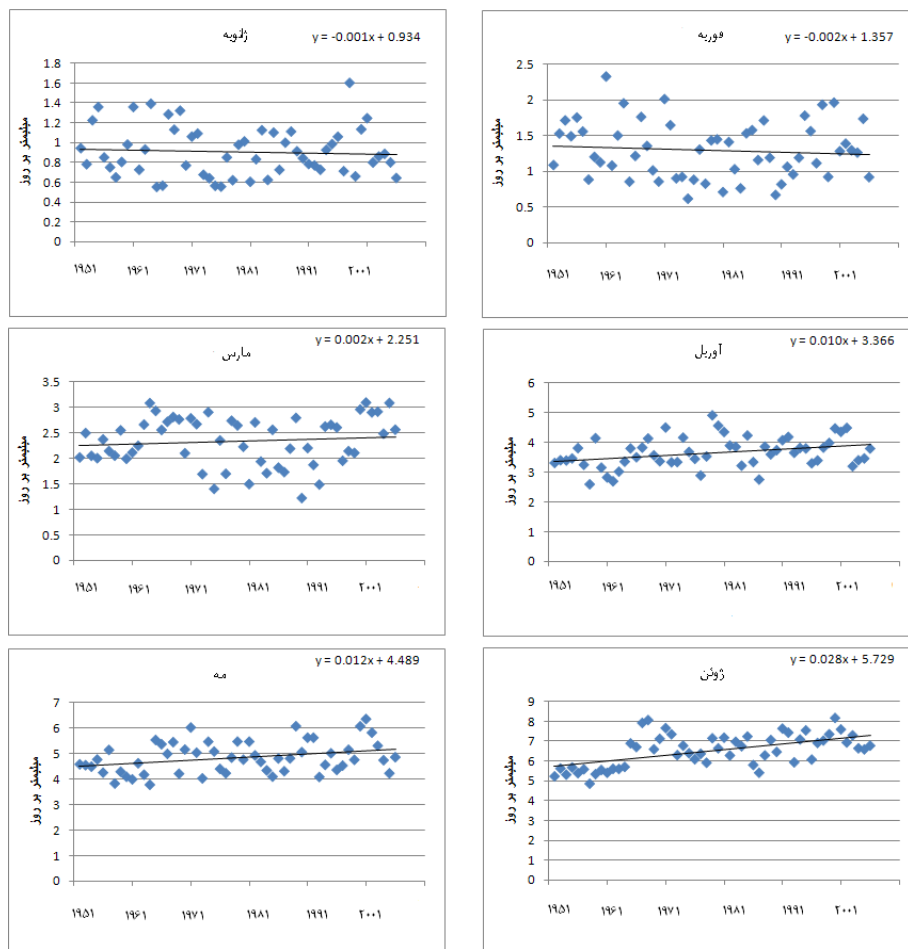


نمودار ۲: نمودار میانگین دوره آماری مقادیر ET_0 به روش PM در ایستگاه همدان (۱۹۵۱-۲۰۰۳).



نمودار ۳: روند تغییرات ET₀ سالانه (نمودار سمت چپ) و E_{pan} در شش ماه گرم سال (نمودار سمت راست) در همدان.

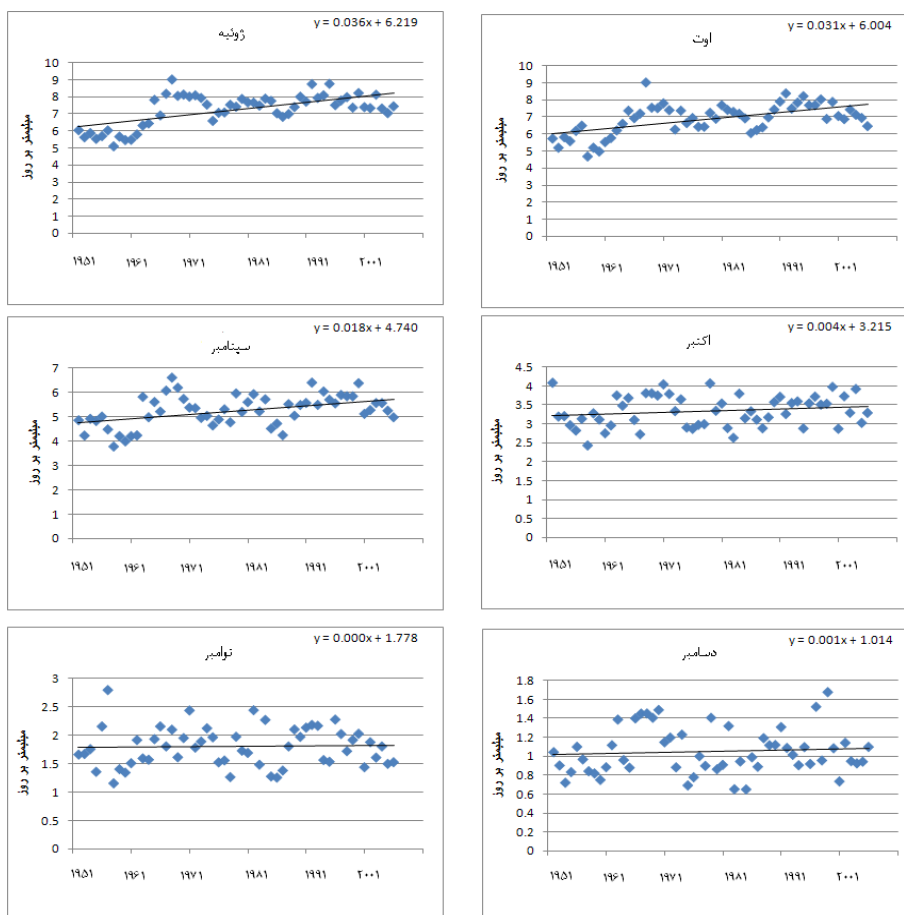
نمودار ۴ روند تغییرات ET₀ ماهانه همدان را با روش رگرسیون خطی نشان می‌دهد. به طوری که از این اشکال می‌توان مشاهده کرد بجز در دو ماه سرد سال (ژانویه و فوریه) در بقیه ماه‌های سال خط روند دارای شیب صعودی است. به عبارت بهتر روند ET₀ همدان در دوره آماری مورد مطالعه در ده ماه از سال مثبت است. از طرفی بررسی آزمون شیب خط روند نشان داد که در شش ماه سرد سال (ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر، نوامبر و دسامبر) - که دو ماه آن دارای شیب منفی و چهار ماه دیگر دارای شیب مثبت بود- شیب خط روند در سطح ۵ درصد معنی دار نیست. با این حال در شش ماه گرم سال (ماه‌های آوریل، مه، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر) شیب خط روند تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع مثبت و در سطح ۱ درصد معنی دار بود. بیشترین مقدار شیب خط روند معادل ۰/۰۳۴ (میلی‌متر بر روز در سال) متعلق به ماه ژوئیه بود. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که در ایستگاه همدان در هر ده سال میزان تبخیر- تعرق در گرم‌ترین ماه (ژوئیه) حدود ۰/۳۴ میلی‌متر بر روز افزایش یافته است. در سایر ماه‌های سال شیب خط روند کمتر از شیب مربوط به ماه ژوئیه است.



نمودار ۴: نمودار روند ET₀ همدان در ماه‌های مختلف سال و در دوره آماری (۱۹۵۱-۲۰۰۵).

نتایج بررسی روند تغییرات ET₀ ماهانه همدان (۱۹۵۱-۲۰۰۵) با روش MK در جدول ۲ نشان داده شده است. در این جدول همچنین مقادیر آماره مان-کندال و شیب خط روند برای متغیر E_{Pan} (۱۹۸۳-۲۰۰۵) در خصوص شش ماه گرم سال درج شده است. به طوری که از این جدول می‌توان استنباط کرد که روند داده‌های ET₀ سالانه رو به بالا و دارای شیب ۴۳ میلی‌متر در هر ده سال است. شیب خط روند برای سری سالانه با آزمون MK در سطح ۱ درصد معنی

دار بود که با نتایج حاصل از روش خط رگرسیون کاملاً همخوانی دارد. در مقیاس ماهانه نیز به طوری که از این جدول می‌توان مشاهده کرد، به جز در دو ماه سرد سال (ژانویه و فوریه) که آماره مان-کندال منفی و شیب خط روند رو به پایین است، در بقیه ماه‌های سال آماره مذکور مثبت و خط روند دارای شیب صعودی است. به عبارت دیگر روند ET_0 همدان در دوره آماری مورد مطالعه با روش MK نیز همانند روش رگرسیون در ده ماه از سال مثبت است.



نمودار ۴ (بقیه): نمودار روند ET_0 همدان در ماه‌های مختلف سال و در دوره آماری (۱۹۵۱-۲۰۰۵).

جدول ۲: روند تغییرات E_{T0} و E_{Pan} همدان با روش ناپارامتری مان - کندال (MK).

مقیاس زمانی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
$Z(E_{T0})$	-۰/۳۸	-۰/۴۵	۰/۹۷	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۳۱	۰/۴۰	۰/۰۴	۰/۰۷	۱/۰۸	۰/۴۹	۰/۸۷	۰/۵۶
شیب* (E_{T0})	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۳۱	۰/۰۳۴	۰/۰۳۲	۰/۰۱۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۴/۳۴
$Z(E_{Pan})$	-	-	-	-	۰/۵۸	۰/۹۵	-۰/۳۲	۰/۴۲	۱/۷۴	۱/۰۸	-	-	-
شیب* (E_{Pan})	-	-	-	-	۰/۷۵	۰/۶۰	-۰/۴۲	۰/۳۷	۱/۱۷	۰/۹۸	-	-	-

* شیب خط روند با فرمول ۲۷ محاسبه شده است و واحد آن برای E_{T0} در مقیاس ماهانه میلی‌متر بر روز در سال و برای مقیاس سالانه میلی‌متر در سال می‌باشد. برای E_{Pan} واحد شیب در مقیاس ماهانه میلی‌متر بر ماه در سال می‌باشد. ضمناً دوره آماری این دو متغیر یکسان نیست (به متن مراجعه شود).

- ارقام پررنگ نشان دهنده معنی داری در سطح ۵ درصد می‌باشند. خط تیره در متن جدول نشان دهنده عدم مطالعه (به دلیل عدم دسترسی به داده) برای ماه مورد نظر است. علامت † نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

از طرفی بررسی آزمون شیب خط روند نشان داد که در شش ماه سرد سال (ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر، نوامبر و دسامبر) - که دو ماه آن دارای شیب منفی و چهار ماه دیگر دارای شیب مثبت بود- شیب خط روند در سطح ۵ درصد معنی دار نیست. با این حال در شش ماه گرم سال (ماه‌های آوریل، مه، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر) شیب خط روند تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع مثبت و در سطح ۵ درصد معنی دار بود. بیشترین مقدار شیب خط روند معادل ۰/۰۳۴ متعلق به ماه ژوئیه بود. این نتیجه با نتایج روش رگرسیونی مطابقت دارد. در حالت کلی با استفاده از روش‌های پارامتری (رگرسیون خطی) و ناپارامتری (روش MK) می‌توان نتیجه گرفت که در ایستگاه همدان در هر ده سال میزان E_{T0} در گرم‌ترین ماه (ژوئیه) در حدود ۰/۳۴ میلی‌متر بر روز افزایش یافته است. این نتیجه نشان دهنده تأثیر مستقیم افزایش گرمای کره زمین بر نیاز آبی گیاه مرجع در همدان می‌باشد. در سایر ماه‌های سال شیب خط روند کمتر از شیب مربوط به ماه ژوئیه می‌باشد. بررسی نتایج مربوط به روند تغییرات E_{Pan} در خصوص ۶ ماه گرم سال (مه تا اکتبر) حاکی از آن است که در تمام ماه‌ها (به جز ژوئیه) روند

رو به بالا در مورد متغیر E_{pan} وجود دارد (جدول ۲). با این حال شیب خط روند E_{pan} در مقایسه با متغیر نظیر ET_0 کمتر است. بیشترین شیب خط روند متعلق به ماه سپتامبر معادل $1/17$ میلی‌متر بر ماه در سال می‌باشد که در سطح ۱۰ درصد معنی دار بود. در ماه ژوئیه بر خلاف ET_0 روند داده‌های E_{pan} سیر نزولی داشت و لیکن معنی دار نبود. دلیل اینکه مقدار شیب خط روند در مورد متغیر E_{pan} کمتر از شیب نظیر ET_0 بود، ممکن است به عدم یکسان بودن دوره آماری این دو متغیر مربوط شود.

بررسی اثر متغیرهای مختلف هواشناسی بر روی میزان تغییرات تبخیر-تعرق گیاه پتانسیل مرجع و یا تبخیر از تشت یکی از موضوعات مورد علاقه محققان مختلف علم هیدرومتئورولوژی بوده است. به عنوان مثال جاجاریا و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی عوامل مختلف هواشناسی بر روی تغییرات تبخیر از تشت نشان دادند که ساعات آفتابی و سرعت باد به ترتیب دو متغیر مهم موثر بر تبخیر از تشت در شمال شرق هند بوده است. گویال (۲۰۰۴) ثابت کرد که چهار عامل دمای هوا، تابش، سرعت باد و فشار هوا به ترتیب تغییرات ET_0 در ناحیه خشک راجستان هند را توجیه می‌کنند. یو و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که دو عامل دمای هوا و رطوبت نسبی هوا باعث افزایش ET_0 در شالیزارهای تایوان شده‌اند. هس (۱۹۹۸) نیز نشان داد که سرعت باد عامل اصلی افزایش ET_0 در ناحیه خشک نیجریه می‌باشد. چاتوپادیای و هولم (۱۹۹۷) تغییرات دو عامل تابش آفتاب و رطوبت نسبی هوا را به عنوان عوامل موثر بر تبخیر-تعرق پتانسیل هند در فصل بعد از موسمی‌ها گزارش کرده‌اند. باندیو پادیای و همکاران (۲۰۰۹) نیز عامل اصلی روند کاهشی ET_0 را در ناحیه کشور هند به افزایش رطوبت نسبی هوا و کاهش سرعت باد نسبت دادند. همچنین زو و همکاران (۲۰۰۶) علت اصلی تغییرات تبخیر از تشت را در حوضه‌ی رود یانگ تسه به سرعت باد و رطوبت نسبی هوا ربط دادند. بورن و هسچ (۲۰۰۷) نیز نشان دادند که عامل اصلی تغییرات تبخیر از تشت تغییر در کمبود فشار بخار اشباع هوا و سرعت باد در کانادا بوده است. در تحقیق حاضر نیز با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره گام به گام تلاش شده که اولاً روند تغییرات متغیرهای

مهم هواشناسی به طور مجزا بررسی شود و ثانیاً مهم‌ترین عامل هواشناسی موثر بر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در ایستگاه همدان شناسایی شود.

نمودار ۵ روند تغییرات متغیرهای هواشناسی مورد بحث را در همدان و در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۵ نشان می‌دهد. به طوری که از این نمودار می‌توان دریافت که روند تغییرات متغیر T_{max} همدان در ماه ژوئیه مثبت، صعودی و در سطح ۱ درصد معنی دار است و حداکثر دمای هوای این ایستگاه در ماه ژوئیه در هر دهه حدود $0/34$ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد، در حالی که روندی در تغییرات متغیر T_{min} در ماه مذکور وجود ندارد. روند تغییرات متغیر RH_{max} همدان در ماه ژوئیه مثبت و صعودی ولی قابل اغماض است و حداکثر رطوبت نسبی هوای این ایستگاه در ماه ژوئیه در هر ده سال حدود $0/37$ درصد افزایش می‌یابد. در حالی که روند تغییرات متغیر RH_{min} منفی و نزولی است و حداقل رطوبت نسبی هوای این ایستگاه در ماه ژوئیه در هر ده سال نزدیک به $8/7$ درصد کاهش می‌یابد. روند تغییرات متغیر تعداد ساعات آفتابی نیز منفی و نزولی ولی قابل اغماض است. تعداد کل ساعات آفتابی ماه ژوئیه در هر ده سال تنها حدود $0/9$ ساعت کاهش نشان می‌دهد. روند تغییرات متغیر سرعت باد در ارتفاع ده متری مثبت و به طور قابل ملاحظه‌ای صعودی است و سرعت باد این ایستگاه در ماه ژوئیه در هر ده سال نزدیک به $0/8$ متر بر ثانیه افزایش یافته که می‌تواند روی میزان ET_0 تأثیر مستقیم و مثبت داشته باشد. قهرمان (۲۰۰۶) نیز برای متغیر میانگین دمای هوا در مقیاس سالانه و در دوره آماری ۱۹۶۸-۱۹۹۸ افزایش دما را گزارش کرده است. نامبرده شیب $0/02$ درجه سانتی‌گراد در سال را برای ایستگاه همدان گزارش کرد. به طوری که می‌توان استنباط کرد گرچه روند تغییرات تبخیر- تعرق ناشی از تغییرات متغیرهای هواشناسی است با این حال نتیجه‌گیری مستقیم از روی این نمودارها با توجه به ماهیت پیچیده ET_0 چندان آسان نیست. برای تشخیص مهم‌ترین متغیر موثر بر ET_0 آنالیز رگرسیون خطی چندگانه گام به گام با در نظر گرفتن سری ET_0 به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای هواشناسی به عنوان متغیرهای مستقل برای هر ماه و سال به طور جداگانه انجام شد. جدول ۳ نتایج این بخش از مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۳: متغیرهای مهم تاثیر گذار روی تبخیر- تعرق همدان با رگرسیون چندگانه گام به گام

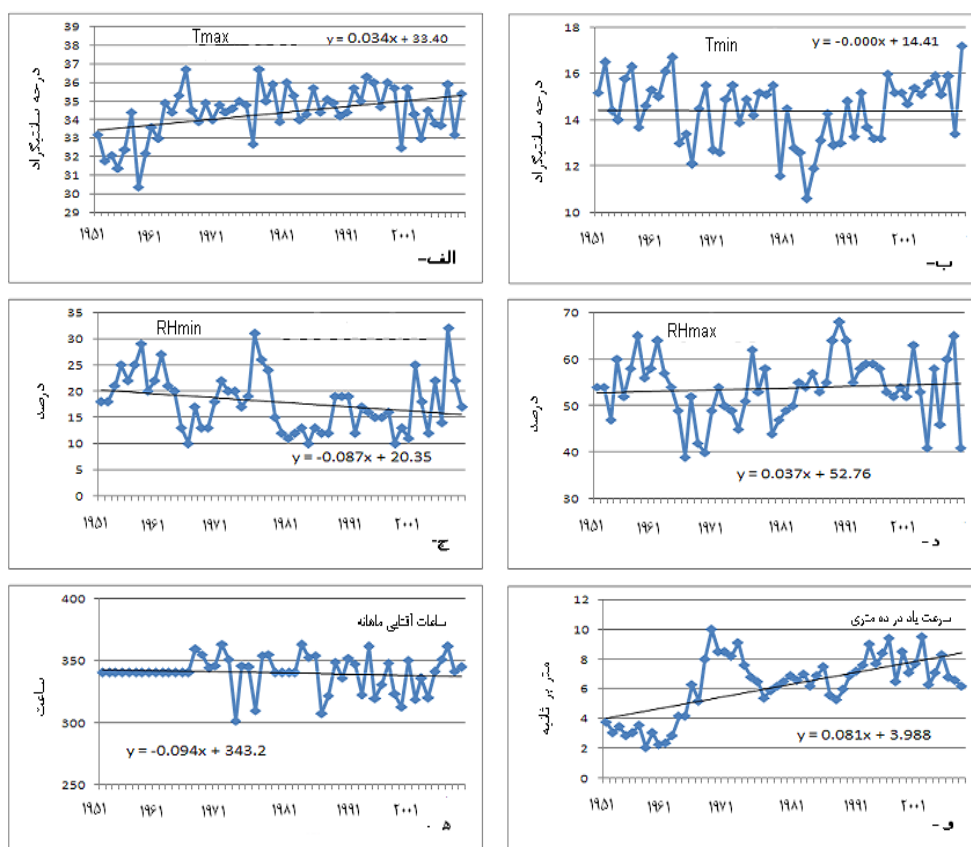
متغیر اول	متغیر دوم	متغیر سوم	متغیر چهارم	متغیر پنجم	ماه یا سال
RH_{min}	wind	-	-	-	ژانویه
RH_{min}	wind	-	-	-	فوریه
RH_{min}	wind	RH_{max}	n	-	مارس
RH_{min}	wind	RH_{max}	n	-	آوریل
RH_{min}	wind	n	RH_{max}	-	مه
wind	T_{max}	RH_{max}	n	RH_{min}	ژوئن
wind	T_{max}	RH_{min}	n	RH_{max}	ژوئیه
wind	T_{max}	RH_{min}	n	RH_{max}	اوت
wind	T_{max}	RH_{min}	n	RH_{max}	سپتامبر
wind	RH_{min}	T_{max}	n	RH_{max}	اکتبر
wind	RH_{min}	T_{max}	n	RH_{max}	نوامبر
RH_{min}	wind	T_{max}	RH_{max}	-	دسامبر
wind	T_{max}	T_{min}	n	RH_{min}	سالانه

n نشان دهنده ساعات آفتابی

- نشان دهنده عدم وجود متغیر مهم

به طوری که از جدول ۳ استنباط می‌شود که در شش ماه سرد سال (دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و مه) دو متغیر حداقل رطوبت نسبی هوا و سرعت باد به ترتیب به عنوان دو متغیر مهم موثر بر تبخیر- تعرق همدان می‌باشند. در بقیه شش ماه سال (ژوئن تا نوامبر) مهم‌ترین متغیر تاثیرگذار روی تبخیر- تعرق همدان، سرعت باد می‌باشد. پس از سرعت باد، حداکثر درجه حرارت هوا به عنوان متغیر مهم موثر بر تبخیر- تعرق تشخیص داده شد. بنابر این، با توجه به اینکه درصد مهمی از ET_0 متعلق به ماه‌های گرم سال است، می‌توان نتیجه گرفت که سرعت باد و حداکثر درجه حرارت هوا دو متغیر مهم موثر بر تبخیر- تعرق همدان

می‌باشند. این نتیجه در مقیاس سالانه نیز صادق است. حداقل دمای هوا، ساعات آفتابی و حداقل رطوبت نسبی هوا نیز - پس از دو عامل مذکور - تا حدودی تغییرات ET_0 سالانه همدان را توجیه می‌کنند.



نمودار ۵: روند تغییرات شش متغیر هواشناسی در ماه ژوئیه در ایستگاه همدان (۱۹۵۱-۲۰۰۵)

*توجه: نمودارها به ترتیب مربوط به (الف) متغیرهای حداکثر دمای هوا، (ب) حداقل دمای هوا، (ج) حداقل رطوبت نسبی و (د) حداکثر رطوبت نسبی و (ه) ساعات آفتابی و (و) سرعت باد می‌باشند. خط رسم شده بر روی نمودارها خط روند می‌باشد.

در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که میزان ET_0 در ماه‌های گرم سال در همدان افزایش معنی‌داری داشته که به ترتیب افزایش سرعت باد و حداکثر دمای هوا عوامل اصلی آن می‌باشند. حداقل رطوبت نسبی هوا و ساعات آفتابی مشاهده شده نیز پس از این دو عامل روی میزان ET_0 در ماه‌های گرم سال تا حدودی موثر بودند. در ماه‌های سرد سال حداقل رطوبت نسبی هوا و سرعت باد به ترتیب مهم‌ترین عوامل موثر بر تغییرات ET_0 همدان است. به طوری که از نمودار ۵ می‌توان استنباط کرد، در ماه ژوئیه خط روند مربوط به متغیر سرعت باد و حداکثر دمای هوا دارای شیب بیشتری در مقایسه با متغیرهای دیگر دارد. این مطلب نتایج به دست آمده از تحلیل رگرسیون گام به گام را تایید می‌کند.

گل‌کارحمزه‌یی یزد و همکاران (۱۳۸۶) نقش طول دوره آماری در روند تغییرات زمانی تبخیر-تعرق گیاه مرجع برای ۳۳ ایستگاه کشور را مطالعه و نتیجه گرفتند که روند در ۳۸ درصد از ایستگاه‌ها طی ۴۰ سال، مثبت و در ۶۲ درصد منفی بود. در حالی که در دوره آماری ۲۰ ساله ۶۲/۵ درصد ایستگاه‌ها دارای روند مثبت و ۳۷/۵ درصد دارای روند منفی بودند. به عبارت دیگر کاهش طول دوره آماری سبب کاستن تعداد ایستگاه‌های دارای روند منفی شد. به نظر می‌رسد با تغییر دوره آماری نتایج به دست آمده نیز در هر ایستگاه ممکن است تا حدود زیادی تغییر کند. بنابراین مقایسه نتایج تحقیقات مختلف در دوره‌های آماری متفاوت ممکن است گمراه‌کننده باشد.

نتیجه‌گیری

بررسی روند تغییرات ET_0 در ایستگاه همدان (نوزده) در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۵ با روش ناپارامتری من-کندال نشان داد که میزان ET_0 سالانه این متغیر با گذشت زمان افزایش یافته است. افزون بر این بررسی روند تغییرات تبخیر از تشت نیز در دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۰۵ حاکی از افزایش تدریجی میزان تبخیر از تشت در ایستگاه مذکور است. در مقیاس ماهانه بررسی‌ها نشان داد که میزان ET_0 ماهانه در شش ماه گرم سال با گذشت زمان در سطح معنی‌داری یک درصد افزایش یافته است. بیشترین شیب خط روند متغیر مذکور متعلق به ماه ژوئیه

و برابر $0/34$ میلی‌متر بر روز در هر ده سال بود. نتایج تحلیل رگرسیون چندگانه گام به گام ثابت نمود که در شش ماه گرم سال مهم‌ترین متغیرهای تاثیر گذار روی تبخیر-تعرق همدان به ترتیب اولویت سرعت باد و درجه حرارت هوا بوده است.

با توجه به ثابت بودن میزان نزولات جوی همدان و روند افزایشی معنی دار ET_0 ماه‌های گرم سال در این ایستگاه و افزایش بی رویه جمعیت و بالا رفتن سطح بهداشت و توسعه کارخانجات می‌توان استنباط کرد که در آینده بحران آب در همدان هم برای بخش کشاورزی و هم برای بخش‌های دیگر مانند شرب و صنعت با گذشت زمان ظاهر شود. چنین استنباط می‌شود که چون بخش مهمی از آب به مصرف کشاورزی می‌رسد بنابراین، به نظر می‌رسد مهم‌ترین اثر این روند در افزایش نیاز آب آبیاری محصولات کشاورزی جلوه گر شود. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع در همدان در ماه‌های گرم سال که گیاهان در حال رشد هستند با گذشت زمان به طور معنی دار در حال افزایش است. انجام تحقیقات مشابه به طور گسترده در ایستگاه‌های دیگر کشور توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

به این وسیله از داوران محترم مقاله که نکات مهمی را در رابطه با ارتقای کیفیت مقاله مطرح کردند تشکر نموده و توفیق آنان را از خداوند متعال خواهانم. این مقاله از طرف معاونت محترم آموزشی و پژوهشی دانشگاه مراغه حمایت مالی شده است که به این وسیله از ایشان سپاسگزاری می‌نماید.

منابع

۱. خیرابی، ج.، توکلی، ع.، انتصاری، م. و سلامت، ع. (۱۳۷۶)، «معرفی جهات نظری و کاربردی روش پنمن - ماتنیس و ارائه نبخیر تعرق مرجع استاندارد برای ایران». انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران ۱۶۶ صفحه.
۲. گل‌کار حمزیه یزد، ح ر، کاوه ف، قهرمان، ب. و صدقی، ح، (۱۳۸۶)، « بررسی روند تغییرات سری زمانی تبخیر- تعرق ماهیانه گیاه مرجع با استفاده از روش پیشنهادی فائو پنمن - ماتنیس»، *علوم کشاورزی (ویژه‌نامه)* ۱۳ (۲): ۴۱۷-۴۳۳.
۳. محلوچی، ه. (۱۳۸۳)، «آمار مهندسی»، (ترجمه). مرکز نشر دانشگاهی تهران ۸۵۲ صفحه.
۴. ناظم‌السادات، م. ج.، سامانی، ن. و مولایی‌نیکو، م.، (۱۳۸۴)، «تغییر اقلیم در جنوب و جنوب‌غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش، برهم‌کنش با پدیده النینو نوسانات جنوبی»، *مجله علمی کشاورزی* ۲۸ (۲): ۸۱-۹۷.
5. Allen, R. G., Periera, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998), "Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements" *FAO Irrigation and Drainage Paper* 56. FAO.
6. Bandyopadhyay, A., Bhadra, A., Raghuwanshi, N.S. and Singh, R. (2009), "Temporal trends in estimates of reference evapotranspiration over India", *Journal of Hydrologic Engineering* 14 (5): 508-518.
7. Burn, D. H. and Hesch, N. M. (2007), "Trends in evaporation for Canadian Prairies", *Journal of Hydrology* 336: 61-73.
8. Chattopadhyay, N. and Hulme, M. (1997), "Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change", *Agricultural Forest Meteorology* 87: 55-73.
9. Ghahraman, B. (2006), "Time trend in the mean annual temperature of Iran", *Turkish Journal of Agricultural Forestry* 30: 439-448.

10. Ghahraman, B. and Taghvaeian, S. (2008.), "Investigation of annual rainfall trends", *Iranian Journal of Agricultural Science and Technology* 10: 93-97.
11. Goyal, R. K. (2004), "Sensitivity of evapotranspiration to global warming: A case study of arid zone of Rajasthan (India)", *Agricultural Water Management* 69: 1-11.
12. Hess, T. M. (1998), "Trends in reference evapo-transpiration in the North East Arid Zone of Nigeria, 1961-91", *Journal of Arid Environments* 38: 99-115.
13. Hirsch, R.M., Slack, J.R. and Smith, R.A. (1982), "Techniques of trend analysis for monthly water quality data", *Water Resources Research* 18:107-121.
14. Jhajharia, D., Shrivastava, S.K., Sarkar, D. and Sarkar, S. (2009), "Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India", *Agricultural Forest Meteorology* 149: 763-770.
15. Modarres, R. and da Silva, V.P.R. (2007), "Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran", *Journal of Arid Environment* 70: 344-355.
16. Nandagiri, L. and Kovoov, M. (2005), "Sensitivity of the food and agriculture organization Penman-Monteith evapotranspiration estimates to alternative procedures for estimation of parameters", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131 (3):238-248.
17. Penman, H.L. (1956), "Evaporation: An introductory survey", *Netherlands Journal of Agric. Sci.* 1: 9-29.
18. Shenbin, C. Yunfeng, L. and Thomas, A. (2006), "Climatic change on the Tibetan Plateau: Potential evapotranspiration trends from 1961-2000", *Climate Change* 76 (3-4): 291-319.

19. Shuttleworth, W.J. (1993), "**Evaporation, Handbook of Hydrology**, D.R., Maidment, ed., McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, pp.4.1-4.53.
20. Xu, C.Y., Gong, L., Jiang, T., Chen, D. and Singh, V.P. (2006), "Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment", **Journal of Hydrology** 327: 81-93.
21. Yu, P.S., Yang, T.C. and Chou, C.C. (2002), "Effects of climate change on evapotranspiration from paddy fields southern Taiwan", **Climatic Change** 54:165-179.