

بررسی روند تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه گیاه مرجع در زابل

یعقوب دین پژوه^۱

۱- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده

در دهه‌های اخیر افزایش میانگین دمای هوا ناشی از تغییرات گازهای گلخانه‌ای اتمسفر مورد توجه محققین در مناطق مختلف جهان قرار گرفته است. یکی از آثار مهم تغییرات مذکور افزایش نیاز آبی گیاهان است. هدف این مطالعه بررسی روند تغییرات ET_0 در ایستگاه خشک زابل می‌باشد. برای بررسی میزان ET_0 روش پنمن-مانتیس (PM) انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور داده‌های این ایستگاه از سال ۱۹۶۳ تا ۲۰۰۵ جمع آوری و تکمیل شد. سپس میزان ET_0 زابل در هر ماه و سال با روش PM محاسبه و روند تغییرات سری زمانی ET_0 در هر ماه به طور جداگانه با روش من-کندال (MK) مطالعه شد. نتایج نشان داد که میزان متوسط دوره آماری ET_0 این ایستگاه از ۲/۰۸ میلیمتر بر روز در ماه دسامبر تا ۱۴/۸ میلیمتر بر روز در ماه ژوئیه تغییر می‌کند. روند تغییرات ET_0 در طول دوره آماری برای تمام ماه‌های سال مثبت و معنی دار بود. ضعیف‌ترین روند متعلق به ماه ژوئن با سطح معنی داری ۰/۰۵ بود. در حالی که قوی‌ترین روند متعلق به ماه فوریه با سطح معنی داری ۰/۰۱ بود. نتیجه این مطالعه نشان داد که علت وجود روند مثبت در سری‌های ET_0 در ایستگاه زابل غالباً به علت افزایش سرعت باد در طول دوره آماری مورد مطالعه بوده است.

کلمات کلیدی: پنمن-مانتیس، من-کندال، روند، زابل، تبخیر و تعرق.

مقدمه

در بولونای^۲ ایتالیا استفاده کردند [۲۲]. روش MK برای تخمین روند در سری‌های جریان آبراه‌های در ۲۶ حوضه ترکیه توسط کاهیا^۳ و کالایسی^۴ و در سویس توسط بیرسان^۵ و همکاران استفاده شده است [۱۴ و ۶]. زانگ^۶ و همکاران روند جریان آبراه‌های را در یازده ایستگاه هیدرومتری کانادا بررسی کردند. همچنین آنها با استفاده از روش MK روند سری داده‌های مربوط به دبی آبراه‌ای و تراز سطح آب رودخانه یانگ تسه^۷ در چین و مولنار و رامیرز^۸ روند تغییرات سری‌های جریان آبراه‌ای و بارش در مقیاس‌های مختلف زمانی را در نیومکزیکو مطالعه نمودند [۲۴، ۲۵ و ۱۶].

روش MK برای تشخیص روند داده‌های بارش نیز مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. مثلاً موسمان^۹ و همکاران این روش را برای تشخیص روند سری داده‌های بارش‌های تابستان در منطقه مینلند^{۱۰} اسپانیا و جیانگ^{۱۱} و

گرم شدن دمای هوا در کره زمین ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌تواند منجر به تغییرات شدید توزیع مکانی و زمانی منابع آب و چرخه آب جهانی شود. بنابراین دانستن روند تغییرات متغیرهای هواشناسی نظیر درجه حرارت، بارش و غیره در مدیریت علمی منابع آب هر منطقه اهمیت دارد. این کار در نواحی خشک و نیمه خشک که در آن آب برای ادامه حیات موجودات زنده، جلوگیری از بیابان‌زایی و تولید محصولات کشاورزی از اهمیت بسزایی برخوردار است، فوق‌العاده ضرورت دارد. تاکنون مطالعات انجام شده در این زمینه بیشتر روی روند تغییرات متغیرهای مربوط به دمای هوا، بارش و جریان آبراه‌ای متمرکز بوده و روند تغییرات نیاز آبی گیاهان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. مثلاً ونتورا^۱ و همکاران از روش مان-کندال (MK) برای تشخیص روند در سری داده‌های مربوط به دما و بارش

1. Ventura
3. Kahya
5. Birsan
7. Yangtze
9. Mosmann
11. Jiang

2. Bologna
4. Kalayci
6. Zhang
8. Molnar and Ramirez
10. Mainland

مطالعه شده است [۱۵]. این محققین از روش MK برای مطالعه بهره برده اند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که سری های مذکور در غالب ایستگاه ها فاقد روند معنی دار و در برخی از ایستگاه ها دارای روند مثبت و در برخی دیگر دارای روند منفی است. قهرمان و تقواییان نیز روند تغییرات بارش های سالانه را در ۳۰ ایستگاه با استفاده از آزمون شیب خط رگرسیون مطالعه کردند [۱۱]. نتایج آنها حاکی از روند منفی بارش سالانه در هفت ایستگاه کشور بود. متاسفانه نامبردگان ایستگاه زابل را در مطالعه پوشش ندادند. خیرابی و همکاران نیز ضمن تشریح روش PM براساس آمار قابل دسترس، میزان تغییرات ET_0 را در ۴۶ ایستگاه کشور از جمله زابل مطالعه نمودند [۳]. هدف اصلی این مطالعه تخمین ET_0 به روش PM در مقیاس ماهانه و بررسی روند تغییرات آن در هر ماه، در ایستگاه زابل است.

مواد و روش ها

ناحیه مورد مطالعه ایستگاه زابل در جنوب شرق ایران است. این ایستگاه در موقعیت طول جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۴۸۹ متر از سطح دریا قرار دارد. نوع اقلیم این ایستگاه بیابانی BW می باشد [۱۰ و ۱۱]. میانگین بارش سالانه این ایستگاه در طول دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۳ معادل ۶۱ میلیمتر است. داده های مورد نیاز برای محاسبه میزان ET_0 ماهانه از سازمان هواشناسی کشور بدست آمد که شامل میانگین حداکثر و حداقل درجه حرارت هوا، تعداد ساعات آفتابی در ماه، میانگین سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاع ده متری و میانگین حداقل و حداکثر رطوبت نسبی هوا در مقیاس ماهانه بودند که در پیروید آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۳ برای محاسبه ET_0 به روش PM استفاده شدند. کیفیت آمار مربوط به هر متغیر هواشناسی مورد

همکاران در مورد سری داده های بارش و دبی آبراهه ای رودخانه یانگ تسه بکار بردند [۱۸ و ۱۳]. ژا^۱ و همکاران نیز روش فوق را برای تشخیص روند سری داده های بارش در ژاپن و نورانت و داگدرویت^۲ در مورد بارش های روزانه و ماهانه منطقه مدیترانه بکار بردند [۲۳ و ۲۰]. داگلاس^۳ و همکاران از روش MK در خصوص تشخیص روند سری داده های مربوط به سیلاب ها و جریان های حداقل در ایالات متحده استفاده کرده اند [۸]. برون و هسچ^۴ روش فوق را برای تشخیص روند سری داده های مربوط به تبخیر از تشت در ۴۸ ایستگاه کانادا مورد استفاده قرار داده اند [۷].

به طوری که اشاره شد تعداد مطالعات انجام شده در مورد روند تغییرات ET_0 در مقایسه با سایر متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی بسیار کم است. با این حال روند تغییرات ET_0 در منطقه خشک شمال شرق نیجریه توسط هس^۵ مطالعه شد [۱۲]. او روش PM را که در سال های اخیر مورد قبول و استفاده اغلب دانشمندان جهان قرار گرفته است برای تخمین ET_0 بکار برد. وی نشان داد که افزایش دمای هوای ایستگاه های مورد مطالعه به اندازه ای نبوده است که روی ET_0 منطقه تاثیر معنی داری داشته باشد.

در کشور ما نیز غالب مطالعات بررسی روند روی متغیرهای دما و بارش متمرکز بوده است. مثلا روند افزایش متوسط سالانه دمای هوا در ۳۴ ایستگاه هواشناسی کشور از جمله ایستگاه زابل توسط قهرمان مطالعه شده است [۱۰]. نتایج مطالعه وی حاکی از آن است که روند تغییرات دما در دوره آماری مشترک (۱۹۶۸-۱۹۹۸) و در بیش از ۶۵٪ از ایستگاه ها مثبت بود با این حال ۳۲٪ از ایستگاه ها دارای روند منفی و در ۳٪ باقیمانده روندی مشاهده نشده است. همچنین روند تغییرات بارش های ماهانه و سالانه و تعداد روزهای همراه با بارندگی در ۲۰ ایستگاه خشک و نیمه خشک کشور از جمله ایستگاه زابل توسط مدرس و سیلوا^۶

1. Xu
3. Douglas
5. Hess

2. Norrant and Douguedroit
4. Burn and Hesch
6. Silva

برثانیه تبدیل شدند. آنگاه ارقام سرعت باد با استفاده از رابطه زیر به مبنای ارتفاع دو متر تبدیل شدند [۵].

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z_w - 5.42)} \quad (1)$$

که در آن u_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب متر برثانیه، u_z سرعت باد در ارتفاع Z متری بر حسب متر برثانیه و Z_w ارتفاع باد سنج بر حسب متر (اینجا معادل با ۱۰ متر و برابر با ارتفاع دکل های بادسنج در ایستگاه های سینوپتیک) است.

- تعداد ساعات آفتابی مشاهده شده در ماه. داده های ساعات آفتابی ماهانه با تقسیم بر تعداد روزهای هر ماه به ساعات آفتابی در روز (n) تبدیل شدند.

برای محاسبه ET_0 از رابطه پنمن مانیتیس به شرح زیر استفاده شد [۵]

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

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع بر حسب میلیمتر بر روز، R_n تابش خالص بر سطح گیاه بر حسب $MJ/(m^2day)$ ، G جریان گرمای خاک بر حسب $MJ/(m^2day)$ ، T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح خاک بر حسب $^{\circ}C$ ، e_s فشار بخار اشباع هوا بر حسب kPa ، e_a فشار بخار واقعی هوا بر حسب kPa ، $(e_s - e_a)$ کمبود فشار بخار اشباع بر حسب kPa ، Δ شیب منحنی فشار بخار تابعی از درجه حرارت بر حسب $^{\circ}C/kPa$ و γ ثابت رطوبت سنج است.

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 بدست آمد:

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

استفاده با رسم نمودار سری زمانی و به طور چشمی مورد ارزیابی قرار گرفت. داده های ساعات آفتابی دارای بیشترین داده ناقص بود. شیرغلامی و همکاران در این خصوص از سایر روش های برآورد تبخیر و تعرق که نیاز به داده های ساعات آفتابی نداشتند استفاده کردند [۴]. در این مطالعه به جای داده های ناقص مذکور از میانگین بلندمدت ساعات آفتابی استفاده شد. هریک از روش ها دارای محاسن و معایبی می باشد. یکی از محاسن این روش سادگی آن است و همانگونه که در ادامه اثبات می شود تبخیر و تعرق زابل بیشتر از سرعت باد تحت تاثیر قرار می گیرد و به تغییرات ساعات آفتابی حساسیت زیادی نشان نمی دهد. لیکن داده های ناقص مربوط به سایر متغیرها اندک بود و غالب آنها با جایگذاری میانگین بلندمدت به جای داده ناقص بازسازی شد با این حال داده های مربوط به حداکثر و حداقل دما با روش تفاضل ها بازسازی گردیدند. لازم به یادآوری است که به علت قرار گرفتن زابل در نوار مرزی امکان استفاده از روش کوادرنانت برای بازسازی داده ها وجود ندارد.

بنابه تعریف ET_0 به تبخیر و تعرق از سطح وسیع پوشیده از چمن سبز اطلاق می شود که در حال رشد فعال بوده، ارتفاع آن یکنواخت و بین ۸ تا ۱۵ سانتیمتر و دارای سایه افکنی کامل باشد و کمبود آب در خاک وجود نداشته باشد [۱۹]. در این روش مقاومت کنوپی گیاه ۷۰ ثانیه بر متر و ضریب انعکاس آن ۰/۲۳ فرض می شود [۲۱]. در این مطالعه داده های شش متغیر در مقیاس ماهانه که در روش PM برای محاسبه ET_0 مورد نیاز است، به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفتند.

- متوسط حداقل و حداکثر دمای هوای به درجه صد بخشی که به ترتیب با T_{min} و T_{max} نشان داده می شود.
- متوسط حداقل و حداکثر رطوبت نسبی هوا به درصد که به ترتیب با RH_{min} و RH_{max} نشان داده می شود.
- متوسط سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین بر حسب نات. ارقام باد با ضرب در عدد ۰/۵۱ به متر

شده و منعکس شده توسط سطح گیاه مرجع به شکل زیر استفاده شد:

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (11)$$

که در آن R_s تابش خورشیدی با طول موج کوتاه رسیده از خورشید به سطح گیاه و α ضریب انعکاس یا آلبدوی کنویبی گیاه است. طبق توصیه FAO-56 مقدار α برای گیاه مرجع چمن سبز معادل ۰/۲۳ فرض شد.

تابش خورشیدی با طول موج کوتاه رسیده از خورشید به سطح گیاه یا R_s از رابطه زیر بدست 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 برحسب $MJ/(m^2day)$ و N تعداد ساعات آفتابی ممکن است که بسته به زمان (ماه) و عرض جغرافیایی محل برحسب ساعت از رابطه زیر بدست آمد:

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

که در آن ω_s زاویه اشعه های خورشید با افق هنگام غروب آفتاب برحسب رادیان است و مطابق رابطه زیر تعیین شد:

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

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

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

R_a مقدار تابش خورشیدی رسیده به بالای جو زمین برحسب $MJ/(m^2day)$ است که به صورت زیر محاسبه شد:

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

که در آن G_{sc} ثابت خورشیدی (برابر با $0.082 MJ/(m^2min)$) و d_r عکس فاصله نسبی زمین تا خورشید است که از رابطه زیر بدست آمد:

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

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

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

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

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

که در آن \bar{T} میانگین دمای هوا است و مطابق رابطه زیر حاصل شد:

$$\bar{T} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (7)$$

ثابت رطوبت سنج (γ) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} p \quad (8)$$

که در آن p فشار اتمسفر برحسب kPa می باشد و از رابطه زیر برآورد شد

$$p = 101.3 \left[\frac{293 - 0.0065z}{293} \right]^{5.76} \quad (9)$$

که در این رابطه Z ارتفاع ایستگاه برحسب متر است. منبع اصلی تامین 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:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (10)$$

که در آن R_{nl} و R_{ns} به ترتیب تابش خالص خورشیدی با طول موج کوتاه و بلند برحسب $MJ/(m^2day)$ است.

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 بدست آمد. برای این منظور از تابش های با طول موج کوتاه جذب

جهانی WMO قویا توصیه شده است. در این مطالعه نیز از این روش برای بررسی روند تغییرات سری‌های زمانی ET_0 استفاده شد. آزمون MK باید برای سری‌هایی بکار رود که خود همبستگی معنی‌داری نداشته باشند [۶]، در غیر اینصورت منجر به رد فرض صفری می‌شود که ذاتا صحیح بوده است (خطای نوع اول). در این مطالعه قبل از انجام آزمون MK سری زمانی مربوطه به شرح زیر مورد آزمون تصادفی بودن قرار گرفت.

در روش MK فرض صفر و فرض مخالف به شرح زیر در نظر گرفته شد

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

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

$$\operatorname{sgn}(x_{i'} - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } \dots x_{i'} - x_i > 0 \\ 0 & \text{if } \dots x_{i'} - x_i = 0 \\ -1 & \text{if } \dots x_{i'} - x_i < 0 \end{cases}$$

که در آن $i' > i$ و $\operatorname{sgn}(\cdot)$ تابع علامت هستند. سپس آماره S از رابطه زیر محاسبه شد

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{i'=k+1}^n \operatorname{sgn}(x_{i'} - x_i) \quad (24)$$

که در آن n تعداد کل داده‌ها است. آنگاه آماره z به کمک رابطه زیر برآورد شد.

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

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

$$\operatorname{var}(s) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

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

تابش خالص خورشیدی با طول موج بلند، R_{nl} برحسب $MJ/(m^2 \text{day})$ به کمک رابطه زیر محاسبه شد:

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

که در آن σ ثابت استفان-بولتزمن و برابر با $4/90.3 \times 10^9 MJ/(K^4 m^2 \text{day})$ است، $T_{\max k}$ و $T_{\min k}$ به ترتیب حداکثر و حداقل دمای هوا برحسب درجه کلوین و R_{so} تابش‌های با طول موج کوتاه در آسمان صاف برحسب $MJ/(m^2 \text{day})$ می‌باشد که از رابطه زیر بدست 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 است. برای محاسبات در مقیاس ماهانه مقدار روز J برای وسط ماه (برمبنای اول ژانویه) به صورت زیر محاسبه شد:

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

که در آن J_1 شماره ماه ($J_1=1, 2, \dots, 12$) است. آزمون روند سری‌های مربوط به ارقام ET_0 ماهانه برای ایستگاه زابل به کمک روش MK بررسی شد. این روش به طور وسیعی در مطالعات مربوط به روند متغیرهای اقلیمی استفاده شده است. از محاسن این روش می‌توان به دو مورد زیر اشاره کرد [۶ و ۲۴]: (الف) نیازی به تطبیق داده‌ها با توزیع آماری نیست و (ب) در مقایسه با سایر آزمون‌های متداول دارای قدرت زیادی است. باید توجه داشت که قدرت آزمون احتمال رد فرض صفری است که ذاتا غلط می‌باشد. علاوه بر این، روش MK برای آزمون روند در مطالعات هواشناسی استفاده و توسط سازمان هواشناسی

عکس دارد. به عبارت دیگر در گرم ترین 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 ۷۷٪ است در حالی که کمترین مقدار آن در ماه اوت و حدود ۳۳٪ است. همچنین بیشترین مقدار حداقل رطوبت نسبی هوا در ماه ژانویه و حدود ۳۹٪ است در حالی که کمترین مقدار آن در ماه سپتامبر و حدود ۱۵٪ می‌باشد (شکل ۱-ب).

ج- سرعت باد

میانگین ماهانه سرعت باد در ایستگاه زابل از متوسط گیری داده‌های روزانه باد برای هر ماه بدست می‌آید. در بلندمدت این ارقام برای هر ماه دوباره معدل گیری شد. نتایج نشان داد که سرعت باد از ژانویه تا ژوئیه افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد (شکل ۱-ج). با این حال گرادبان تغییرات سرعت در ماه‌های مختلف سال ثابت نیست. به عبارت دیگر آهنگ افزایش سرعت باد در زابل در ماه‌های سرد سال کمتر از ماه‌های گرم سال است. همانطور که از شکل ۱-ج مشاهده می‌شود متوسط روزانه سرعت باد در ماه ژانویه اندکی بیش از ۲ متر بر ثانیه است. این رقم به تدریج افزایش یافته تا اینکه در ماه چهارم (آوریل) سرعت باد به حدود ۴ متر بر ثانیه می‌رسد. از ماه آوریل به بعد افزایش سرعت باد به صورت ناگهانی اتفاق می‌افتد، به طوری که سرعت باد از ۴ متر بر ثانیه در ماه چهارم به حدود ۱۰ متر بر ثانیه در ماه هفتم (ژوئیه) می‌رسد. باید دانست که سرعت لحظه‌ای باد در این ایستگاه ممکن است به چندین برابر این رقم نیز برسد. در حالت کلی میانگین سرعت باد در چهار ماه گرم سال بیش از ۷ متر بر ثانیه می‌باشد که نشان دهنده موقعیت ممتاز منطقه از نظر تحصیل انرژی باد در شرق کشور است. نتایج این مطالعه با گزارش جعفری و شهیدی نژاد تا حدود زیادی همخوانی دارد [۱]. طبق گزارش نامبردگان وجود سرعت باد بین ۲ تا ۱۰ متر بر ثانیه امکان بهره‌برداری بهینه از توربین‌های بادی را فراهم می‌سازد.

که در آن q تعداد دسته عددهای مساوی هم موجود در سری داده‌ها و t_p تعداد داده‌های مساوی هم در دسته p ام است. 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 است. در آزمون دو طرفه اگر در سطح معنی داری مورد نظر، قدرمطلق آماره Z محاسبه شده از $Z_{\alpha/2}$ بزرگتر می‌شد فرض صفر رد می‌شد و در غیر این صورت فرض صفر مورد قبول واقع می‌شد.

نتایج و بحث

تحلیل تغییرات متغیرهای هواشناسی زابل

الف- حداقل و حداکثر دمای هوا

شکل ۱ منحنی تغییرات هریک از شش متغیر مورد استفاده در تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع به روش PM را که در دوره آماری مورد بررسی میانگین گرفته شده است، نشان می‌دهد. به طوری که از شکل ۱-الف می‌توان استنباط کرد منحنی تغییرات میانگین هر دو متغیر مربوط به دما در طول سال، حداکثر و حداقل دمای هوا، در ایستگاه زابل از ژانویه تا ژوئیه به تدریج افزایش و سپس از ژوئیه تا دسامبر کاهش می‌یابد. در گرم ترین ماه سال میانگین حداکثر دمای هوای زابل به حدود ۴۲ درجه سلسیوس می‌رسد. اما در سردترین ماه سال این رقم به حدود ۱۵ درجه سلسیوس تنزل می‌کند. در گرم ترین ماه سال میانگین حداقل دمای هوای زابل به حدود ۲۸ درجه سانتیگراد و در سردترین ماه سال این رقم به حدود ۲ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد.

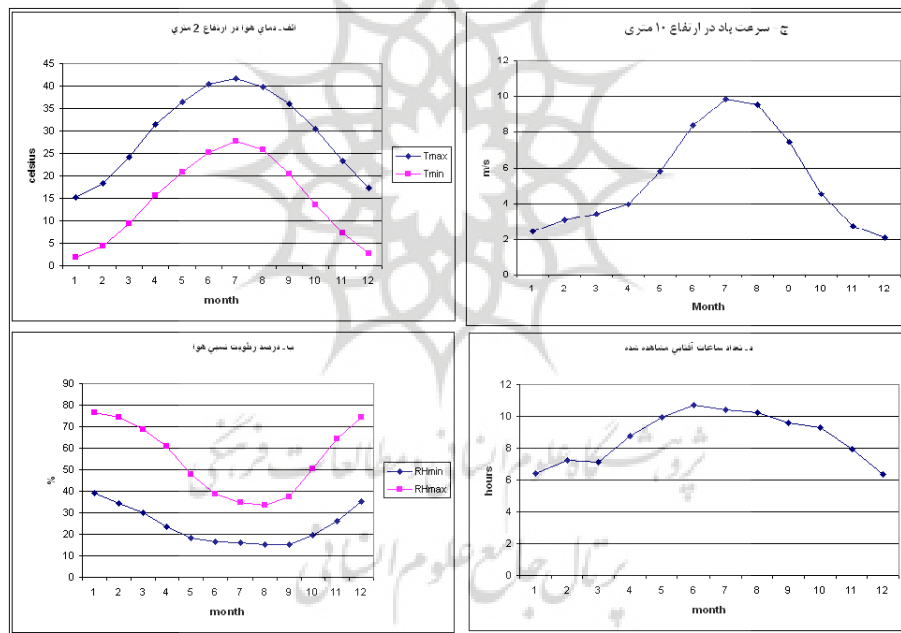
ب- حداقل و حداکثر رطوبت نسبی هوا

میانگین مربوط به هر دو متغیر حداکثر و حداقل رطوبت نسبی هوا از ژانویه تا اواخر ماه اوت به تدریج کاهش و سپس افزایش می‌یابد (شکل ۱-ب). بنابراین، مطابق انتظار رطوبت نسبی هوای زابل با دمای هوا نسبت

د- ساعات آفتابی

تعداد ساعات آفتابی موجود با آفتاب نگار کمپل استوکس اندازه گرفته می شود. به طور متوسط در زابل تعداد ساعات آفتابی موجود از ۶/۳ ساعت در روز برای سردترین ماه سال (دسامبر) تا ۱۰/۷ ساعت در روز برای ژوئن تغییر می کند (شکل ۱-د). ساعات آفتابی زابل با شیب کم از ژانویه تا مارس افزایش می یابد سپس با شیب قابل ملاحظه ای از مارس تا ژوئن تعداد ساعات آفتابی بیشتر می شود. آنگاه به تدریج تعداد ساعات آفتابی کاهش می یابد. به نظر می رسد علت کاهش ساعات آفتابی در ماه ژوئیه نسبت به ماه ژوئن ورود سیستم های جوی مونسون از خلیج بنگال به ناحیه سیستان در ایران می باشد.

بررسی وضعیت باد در این ایستگاه و سه ایستگاه دیگر شامل ایستگاه های نهندان، بیرجند و زاهدان در منطقه سیستان مطالعه شده است [۲]. براساس گزارش مذکور جهت غالب باد در زابل شمال غربی است. دوره وزش بادهای شدید زابل ۱۳۱ روز و از ۲۰ اردیبهشت تا ۲۶ شهریور بوده و سرعت باد در نیمه شب به اوج خود و به بیش از ۱۷ متر بر ثانیه می رسد [۲]. به نظر می رسد این گونه بادهای باعث تبخیر و تعرق شدید شده و به مراتب سبب افزایش نیاز آبی گیاه می شود و منطقه را از نظر پتانسیل تولیدات کشاورزی با مشکل مواجه می سازد. در محاسبات ET_0 با روش PM سرعت باد با رابطه (۱) از ارتفاع ۱۰ متری به ارتفاع ۲ متری تبدیل شد.



شکل ۱- میانگین متغیرهای هواشناسی در زابل در دوره آماری ۱۹۶۳-۲۰۰۵

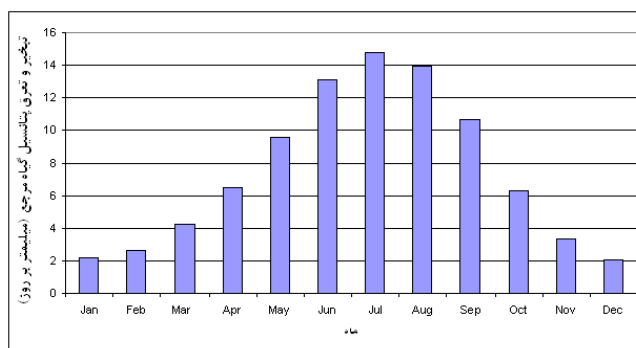
میلیمتر بر روز در ماه دسامبر تا حداکثر ۱۴/۷۶ میلیمتر بر روز در ماه ژوئیه تغییر می کند. نتایج بدست آمده برای سری سالانه ET_0 نشان داد که مقادیر مذکور در ایستگاه زابل از حداقل ۲۰۵۲ میلیمتر در سال ۱۹۶۸ تا حداکثر ۳۵۶۱ میلیمتر در سال ۱۹۸۴ تغییر می کند. در کل دوره آماری این

نتایج محاسبات تعرق پتانسیل گیاه مرجع به روش PM در زابل

شکل ۲ میانگین ماهانه مقادیر ET_0 به روش PM را برای ایستگاه زابل نشان می دهد. همان طور که از این شکل مشخص می شود مقدار ET_0 این ایستگاه از حداقل ۲/۰۸

رقم با گزارش دین پژوه نیز برای ایستگاه زابل رقم ۲۷۰۰ میلیمتر را با استفاده از روش لاینکر محاسبه نموده است، همخوانی دارد [۸].

رقم به طور متوسط معادل ۲۷۱۵ میلیمتر در سال است که بیش از ۴۴ برابر میانگین بارش سالانه زابل می باشد و نشان دهنده حاکمیت شدید خشکی در این ایستگاه است. این



شکل ۲- میانگین مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در زابل (۲۰۰۵-۱۹۶۳)

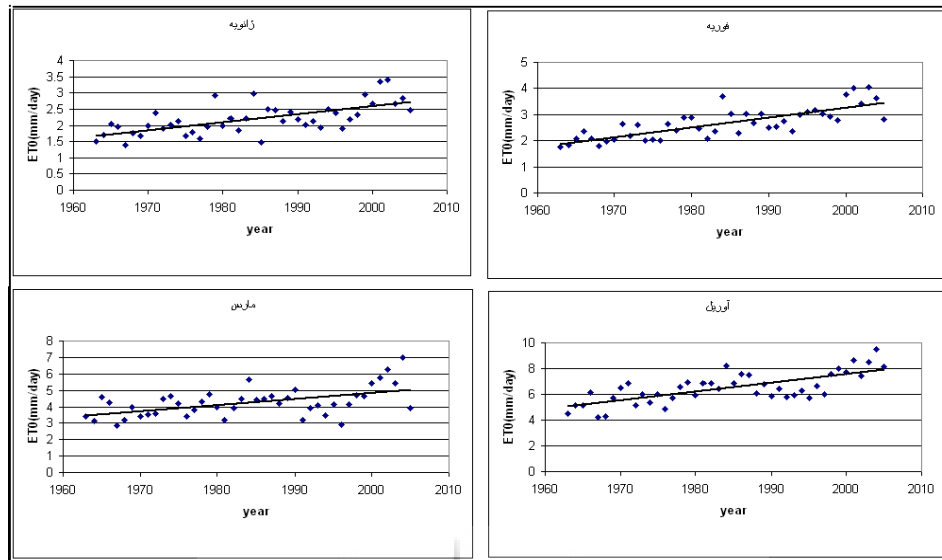
۱/۹۶۵ و برای حد معنی داری ۰/۰۱ معادل ۳/۲۷ است. بنابراین از جدول ۱ مشخص می شود که به جز در ماه ژوئن، روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در ماه های مختلف سال در زابل و در دوره آماری مذکور در سطح ۰/۰۱ بسیار معنی دار است. در ماه ژوئن نیز روند مثبت و در سطح ۰/۰۵ معنی دار است. بنابراین می توان گفت که در سایر ماه های سال روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در زابل بسیار معنی دار بوده است. به طوری که می توان استنباط کرد بیشترین روند مثبت متعلق به ماه فوریه است.

در حالت کلی نتایج محاسبات مربوط به روش MK در مورد سری زمانی میزان ET₀ ماه های مختلف سال در دوره آماری مورد بررسی نشان می دهد که مقادیر آماره های S و Z برای تمام ماه های سال مثبت و در سطح ۰/۰۵ روند ET₀ ماهانه مثبت و معنی دار است. به جز در ماه ژوئن در سایر ماه های سال روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در دوره آماری مذکور در سطح ۰/۰۱ بسیار معنی دار است. شیرغلامی و همکارانش نیز بیشترین مقدار شیب خط روند رگرسیونی را در بین تمام ۳۴ ایستگاه مورد مطالعه به میزان ۹/۱۹ برای زابل گزارش کرده اند [۴] که با نتایج تحقیق حاضر کاملا همخوانی دارد.

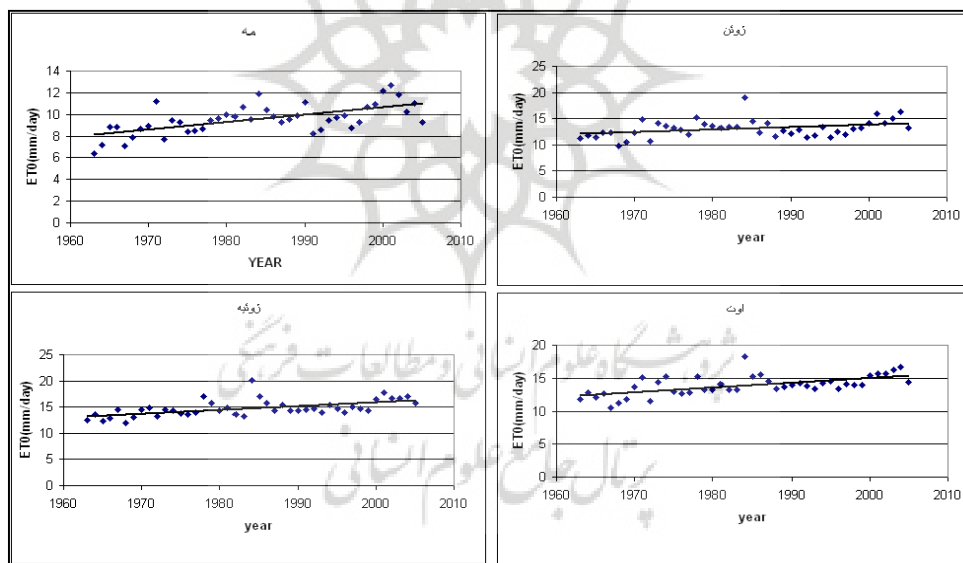
نتایج بررسی روند سری های زمانی ET₀ ماهانه زابل و علت تغییرات آن

شکل های ۳ تا ۵ روند ET₀ ماهانه زابل را در ماه های مختلف سال نشان می دهد. در این شکل ها نقاط نشان دهنده میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ماه مورد نظر در هر سال هستند و خط روند نیز روی نقاط داده ها رسم شده است. همان طور که از این شکل ها مشاهده می شود بدون استثنا در تمام ماه های سال خط روند دارای شیب صعودی است، به عبارت دیگر روند ET₀ زابل در دوره آماری مورد مطالعه در تمام ماه ها مثبت و معنی دار است. در نتیجه می توان استنباط کرد که با توجه به افزایش نیاز آبی در زابل میزان تقاضا برای آب افزایش یافته و در نتیجه مدیریت آب موجود بایستی به طور کاملا علمی در منطقه اعمال گردد تا از بروز مشکلات بعدی پیشگیری شود. این منطقه به عنوان یکی از مناطق با نسبت P/ET بسیار پایین کشور شناخته شده است که خود نشان دهنده یکی از نواحی حساس کشور در زمان های خشکسالی و بحران آب می باشد [۸].

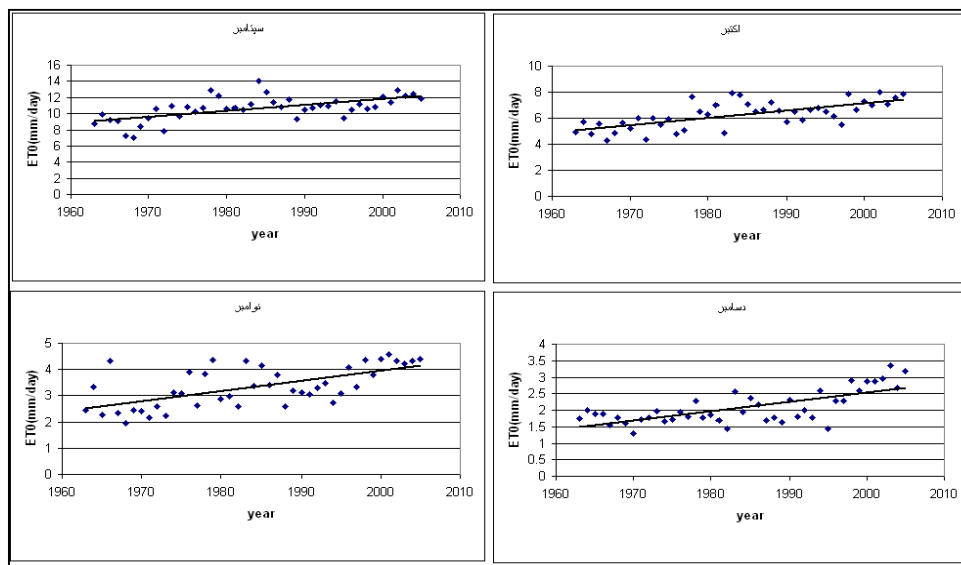
مقادیر آماره Z در روش MK در ماه های مختلف سال در جدول ۱ نشان داده شده است. باید توجه داشت که در یک تست دو طرفه مقدار حد معنی داری ۰/۰۵ معادل



شکل ۳- روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در زابل طی ماه های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل (۱۹۶۳-۲۰۰۵)



شکل ۴- روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در زابل طی ماه های مه، ژون، ژونیه و اوت (۱۹۶۳-۲۰۰۵)



شکل ۵- روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در زابل طی ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر (۱۹۶۳-۲۰۰۵)

جدول ۱- مقادیر آماره Z من-کندال سری‌های زمانی تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در زابل (۱۹۶۳-۲۰۰۵)

| دسامبر | نوامبر | اکتبر | سپتامبر | اوت | ژوئیه | ژوئن | مه | آوریل | مارس | فوریه | ژانویه | ماه |
|--------|--------|-------|---------|-----|-------|------|-----|-------|------|-------|--------|-----|
| ۴/۲ | ۴/۵ | ۴/۶ | ۴/۳ | ۴/۶ | ۴/۱ | ۲/۵ | ۴/۲ | ۴/۶ | ۳/۴ | ۵/۷ | ۴/۵ | Z* |

* تمام مقادیر جدول در سطح معنی داری ۵٪ معنی دار هستند.

** تمام مقادیر به جز ماه ژوئن در سطح معنی داری ۱٪ نیز معنی دار هستند.

در ۲۰ ایستگاه کشور از جمله زابل، نشان داده شده است که روند مجموع بارش‌های ماهانه در اکثر ماه‌های سال (به جز ماه‌های ژانویه، مارس، اکتبر و دسامبر) در زابل منفی و در سطح ۵٪ معنی دار است [۱۵]. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به روند افزایشی ET_0 در ماه‌های مختلف سال و روند کاهشی بارش، بحران آب از دیدگاه مصارف کشاورزی و سایر دیدگاه‌ها مانند شرب و صنعت در این منطقه با گذشت زمان شدیدتر شود.

نتیجه گیری

در این مطالعه روند تغییرات میزان ET_0 برای ایستگاه زابل با استفاده از شش متغیر هواشناسی در دوره آماری ۱۹۶۳-۲۰۰۵ با روش MK بررسی شد. میزان ET_0 ماهانه برای هریک از ماه‌های سال به روش PM محاسبه شد.

به منظور بررسی علت روند افزایشی در میزان ET_0 زابل نمودار سری زمانی هریک از متغیرهای شش گانه مورد استفاده در روش PM در طول دوره آماری رسم شد (نشان داده نشده). نتایج نشان داد که روند تغییرات متغیرهای T_{min} ، T_{max} ، ساعات آفتابی و سرعت باد مثبت ولی هر دو متغیر مربوط به رطوبت نسبی روند کاهشی داشتند. با این حال شیب خط روند به جز در مورد سرعت باد برای سایر متغیرها قابل ملاحظه نبوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که علت اصلی افزایش مقدار ET_0 در دوره مورد مطالعه در زابل در ارتباط با افزایش قابل ملاحظه سرعت باد در طول زمان در این ایستگاه می‌باشد. قهرمان نیز با استفاده از داده‌های قابل دسترس نشان داده است که میانگین دمای سالانه زابل فاقد هرگونه روند اعم از مثبت یا منفی می‌باشد [۱۰]. از طرف دیگر با بررسی روند بارندگی

این که کاهش سرعت باد در زابل می تواند تاثیر معنی داری در کاهش ET_0 داشته باشد، بنابراین توصیه می شود که از بادشکن ها در مزارع استفاده شود. بررسی روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در سایر ایستگاه های کشور به خصوص در ایستگاه های مرطوب جهت مطالعات بعدی قویا توصیه می شود. مطالعه جنبه های مثبت بالا بودن شدت باد در زابل از نظر امکان تحویل انرژی پاک در این منطقه نیز به شدت توصیه می گردد.

منابع

- ۱- جعفری، ح.، س.، شهیدی نژاد، ۱۳۸۱، جایگزینی انرژی باد به جای سوخت های فسیلی در پمپاژ آب جهت مصارف کشاورزی، نشریه انرژی ایران، شماره ۱۵، ۸۶-۶۷.
- ۲- حسین زاده، س. ر.، ۱۳۷۶، بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال دوازدهم شماره ۳، ۱۰۳-۱۲۷.
- ۳- خیرابی، ج. ع.، توکلی، م. ر.، انتصاری، ع. ر.، سلامت، ۱۳۷۶، معرفی جهات نظری و کاربردی روش پنمن-مانتیس و ارایه تبخیر-تعرق مرجع استاندارد برای ایران، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶۵ صفحه.
- ۴- شیرغلامی، ه. ب.، قهرمان، ا.، علیزاده، ج.، بداق جمالی، ۱۳۸۳، بررسی روند تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ایران، پژوهش نامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، شماره ۳، ۲۷-۱۱.
5. Allen, R. G., L. S., Pereira, D., Raes and M., Smith, 1998, Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirement, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome.
6. Birsan, M. V., P., Molnar, P., Burlando and M., Pfaundler, 2005, Streamflow Trends in Switzerland, J. of Hydrology, 314, 212-229.
7. Burn D.H. and N.M., Hesch, 2007, Trends in Evaporation for Canadian Prairies, J. of Hydrology, 336: 61-73.
8. Dinpashoh, Y., 2006, Study of Reference Crop Evapotranspiration in I.R. of Iran, Agricultural Water Management, 84, 123-129.
9. Douglas, E. M., R. M., Vogel and C.N., Kroll, 2000, Trends in Floods and Low Flows

مهمترین نتیجه این مطالعه وجود روند مثبت معنی دار در میزان ET_0 ماهانه زابل برای تمام ماه های سال بود. بیشترین روند مثبت متعلق به ماه فوریه و کمترین آن مربوط به ماه ژوئن بود که به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد معنی دار بودند. مهمترین متغیر دخیل در افزایش روند ET_0 زابل افزایش سرعت باد در طول دوره آماری بود. سایر متغیرهای هواشناسی فاقد هرگونه نقش مهم در افزایش روند میزان ET_0 ماهانه زابل بودند. بنابراین، استفاده از روش های تخمین ET_0 مبتنی بر دمای هوا مانند روش تورنت وایت و پرستلی تایلور در ایستگاه هایی نظیر ایستگاه زابل نتایج قابل اعتمادی بدست نخواهد داد زیرا این گونه مدل ها عامل سرعت باد را در محاسبه ET_0 دخالت نمی دهند. با توجه به اینکه بخش مهمی از آب به مصرف کشاورزی می رسد بنابراین، به نظر می رسد که مهمترین اثر روند مثبت در میزان ET_0 افزایش نیاز آب آبیاری برای تولید محصولات کشاورزی باشد. مورتون نشان داد که چون در ایستگاه های خشک شرایط مرجع وجود ندارد بنابراین بخشی از افزایش ET_0 در این ایستگاه ها کاذب و به علت خشکی ایستگاه است [۱۷]، طوری که اگر شرایط مرجع (از قبیل داشتن آب کافی) وجود می داشت تبخیر و تعرق روی مشخصات هوای ایستگاه تاثیر می گذاشت و هوا را خنک تر، بخار آب هوارا زیادتر، زبری سطح را بیشتر، هر دو مقاومت آئرو دینامیکی و سطحی (استومات ها) را بیشتر و در نتیجه میزان ET_0 را کمتر می کرد. به عبارت دیگر چون بخشی از انرژی به مصرف تبخیر می رسید، در نتیجه دمای هوا خنک تر از مقدار اندازه گیری شده می شد. همچنین در این مطالعه مقدار آلیبدو ۰/۲۳ فرض شد که با توجه به اینکه پوشش سطح زمین در ماه های مختلف سال تغییر می کند ممکن است با واقعیت مطابقت نداشته باشد و نتایج را تحت تاثیر قرار دهد. در حالت کلی می توان نتیجه گرفت که نیاز آبی محصولات کشاورزی در این منطقه با گذشت زمان زیادتر می شود. بنابراین لازم است تدابیر علمی در مورد استفاده مناسب از آب موجود در این منطقه اتخاذ شود. با توجه به

19. Nandagiri, L. and M., Kovoov, 2005, Sensitivity of the Food and Agriculture Organization Penman-Monteith Evapotranspiration Estimates to Alternative Procedures for Estimation of Parameters, J. of Irrigation and Drainage Engineering, 131(3), 238-248.
20. Norrant, C. and A., Douguedroit, 2005, Monthly and Daily Precipitation Trends in the Mediterranean (1950-2000), Theoretical and Applied Climatology, 83, 89-106.
21. Shenbin, C., L., Yunfeng and A., Thomas, 2006, Climatic Change on the Tibetan Plateau: Potential Evapotranspiration Trends from 1961-2000, Climate Change, 76(3-4), 291-319.
22. Ventura, F., P. R., Pisa and E., Ardizzoni, 2002, Temperature and Precipitation Trends in Bologna (Italy) from 1952 to 1999, Atmospheric Research, 61, 203-214.
23. Xu, Z. X., K., Takeuchi and H., Ishidaria, 2003, Monotonic Trend and Step Changes in Japanese Precipitation, J. of Hydrology, 279, 144-150.
24. Zhang, Q., C., Liu, C., Xu, Y., Xu, and T., Jiang, 2006, Observed Trends of Annual Maximum Water Level and Stream Flow during Past 130 Years in the Yangtze River Basin, J. of Hydrology, 324, 255-265.
25. Zhang, X., K. D., Harvey, W. D., Hogg. And T. R., Yuzyk, 2001, Trends in Canadian Stream Flow, Water Resources Research, 37(4), 987-998.
- in the United States: Impacts of Spatial Correlation, J. of Hydrology, 240, 90-105.
10. Ghahraman, B., 2006, Time Trend in the Mean Annual Temperature of Iran, Turk. J. Agric forest. 30, 439-448.
11. Ghahraman, B. and S., Taghvaeian, 2008, Investigation of Annual Rainfall Trends in Iran, J. Agric. Sci. Thechnol., 10, 93-97.
12. Hess, T.M., 1998, Trends in Reference Evapotranspiration in the North East Arid Zone of Nigeria, 1961-91, Journal of Arid Environments, 38, 99-115.
13. Jiang, T., B., Su and H., Hartmann, 2007, Temporal and Spatial Trends of Precipitation and River Flow in the Yangtze River basin, 1961-2000. Geomorphology, 85, 143-154.
14. Kahya, E. and S., Kalayci, 2004, Trend Analysis of Stream Flow in Turkey, J. of Hydrology, 289, 128-144.
15. Modarres, R. and V. P. R., Silva, 2007, Rainfall Trends in Arid and Semi-arid Regions of Iran, Journal of Arid Environment, 70, 344-355.
16. Molnar, P. and J. A., Ramirez, 2001, Recent Trends in Precipitation and Stream Flow in the Rio Puerco Basin, Journal of Climate, 14, 2317-2328.
17. Morton, F. I., 1983, Operational Estimates of Areal Evapotranspiration and their Significance to the Science and Practice of Hydrology, J. of Hydrology, 66, 1-76.
18. Mosmann, V., A., Castro, R., Fraile, J., Dessens and J. L., Sanchez, 2004, Detection of Statistically Significant Trends in the Summer Precipitation of Mainland Spain, Atmospheric Research, 70, 43-53.