

## بررسی روند تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه گیاه مرجع در زابل

یعقوب دین پژوه<sup>1</sup>

1- 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<sub>0</sub> در ایستگاه خشک زابل می‌باشد. برای بررسی میزان ET<sub>0</sub> روش پنمن-مانتیس (PM) انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور داده‌های این ایستگاه از سال 1963 تا 2005 جمع آوری و تکمیل شد. سپس میزان ET<sub>0</sub> زابل در هر ماه و سال با روش PM محاسبه و روند تغییرات سری زمانی ET<sub>0</sub> در هر ماه به طور جداگانه با روش من-کندال (MK) مطالعه شد. نتایج نشان داد که میزان متوسط دوره آماری ET<sub>0</sub> این ایستگاه از 2/08 میلیمتر بر روز در ماه دسامبر تا 14/8 میلیمتر بر روز در ماه ژوئیه تغییر می‌کند. روند تغییرات ET<sub>0</sub> در طول دوره آماری برای تمام ماه‌های سال مثبت و معنی دار بود. ضعیف ترین روند متعلق به ماه ژوئن با سطح معنی داری 0/05 بود. در حالی که قوی ترین روند متعلق به ماه فوریه با سطح معنی داری 0/01 بود. نتیجه این مطالعه نشان داد که علت وجود روند مثبت در سری‌های ET<sub>0</sub> 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<sup>2</sup> ایتالیا استفاده کردند [22]. روش MK برای تخمین روند در سری‌های جریان آبراهه‌ای در 26 حوضه ترکیه توسط کاهیا<sup>3</sup> و کالایسی<sup>4</sup> و در سویس توسط بیرسان<sup>5</sup> و همکاران استفاده شده است [14 و 6]. زانگ<sup>6</sup> 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 آبراهه‌ای و تراز سطح آب رودخانه یانگ تسه<sup>7</sup> در چین و مولنار و رامیرز<sup>8</sup> روند تغییرات سری‌های جریان آبراهه‌ای و بارش در مقیاس‌های مختلف زمانی را در نیومکزیکو مطالعه نمودند [24، 25 و 16].

روش MK برای تشخیص روند داده‌های بارش نیز مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. مثلاً موسمان<sup>9</sup> و همکاران این روش را برای تشخیص روند سری داده‌های بارش‌های تابستان در منطقه مینلند<sup>10</sup> اسپانیا و جیانگ<sup>11</sup> 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 بیابان زایی و تولید محصولات کشاورزی از اهمیت بسزایی برخوردار است، فوق العاده ضرورت دارد. تاکنون مطالعات انجام شده در این زمینه 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. مثلاً ونتورا<sup>1</sup> 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 [15]. 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 30 ایستگاه با استفاده از آزمون شیب خط رگرسیون مطالعه کردند [11]. 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 46 ایستگاه کشور از جمله زابل مطالعه نمودند [3]. 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 31 درجه و 2 دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی 61 درجه و 29 دقیقه شرقی و ارتفاع 489 متر از سطح دریا قرار دارد. نوع اقلیم این ایستگاه بیابانی BW می باشد [10 و 11]. میانگین بارش سالانه این ایستگاه در طول دوره آماری 1963-2005 معادل 61 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 پیوند آماری 1963-2005 برای محاسبه  $ET_0$  با روش PM استفاده شدند. کیفیت آمار مربوط به هر متغیر هواشناسی

همکاران در مورد سری داده های بارش و دبی آبراه های رودخانه یانگ تسه بکار بردند [18 و 13]. ژا<sup>1</sup> و همکاران نیز روش فوق را برای تشخیص روند سری داده های بارش در ژاپن و نورانت و داگدرویت<sup>2</sup> در مورد بارش های روزانه و ماهانه منطقه مدیترانه بکار بردند [23 و 20]. داگلاس<sup>3</sup> و همکاران از روش MK درخصوص تشخیص روند سری داده های مربوط به سیلاب ها و جریان های حداقل در ایالات متحده استفاده کرده اند [8]. بورن و هسج<sup>4</sup> روش فوق را برای تشخیص روند سری داده های مربوط به تبخیر از تشت در 48 ایستگاه کانادا مورد استفاده قرار داده اند [7].

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<sup>5</sup> مطالعه شد [12]. 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. مثلاً روند افزایش متوسط سالانه دمای هوا در 34 ایستگاه هواشناسی کشور از جمله ایستگاه زابل توسط قهرمان مطالعه شده است [10]. نتایج مطالعه وی حاکی از آن است که روند تغییرات دما در دوره آماری مشترک (1968-1998) و در بیش از 65٪ از ایستگاه ها مثبت بود با این حال 32٪ از ایستگاه ها دارای روند منفی و در 3٪ باقیمانده روندی مشاهده نشده است. همچنین روند تغییرات بارش های ماهانه و سالانه و تعداد روزهای همراه با بارندگی در 20 ایستگاه خشک و نیمه خشک کشور از جمله ایستگاه زابل توسط مدرس و سیلوا<sup>6</sup>

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 [5].

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

که در آن  $u_2$  سرعت باد در ارتفاع 2 متری برحسب متر برثانیه،  $u_z$  سرعت باد در ارتفاع  $Z$  متری برحسب متر برثانیه و  $Z_w$  ارتفاع باد سنج بر حسب متر (اینجا معادل با 10 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 مانیتس به شرح زیر استفاده شد [5]

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

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

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

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

مورد 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 [4]. در این مطالعه به جای داده های ناقص مذکور از میانگین بلندمدت ساعات آفتابی استفاده شد. هر یک 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 وحدافل 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 8 تا 15 سانتیمتر و دارای سایه افکنی کامل باشد و کمبود آب در خاک وجود نداشته باشد [19]. در این روش مقاومت کنوپی گیاه 70 ثانیه بر متر و ضریب انعکاس آن 0/23 فرض می شود [21]. 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 10 متری از سطح زمین برحسب نات. ارقام باد با ضرب در عدد 0/51 به متر

که در آن  $R_s$  تابش خورشیدی با طول موج کوتاه رسیده از خورشید به سطح گیاه و  $\alpha$  ضریب انعکاس یا آلیدوی کنوپی گیاه است. طبق توصیه FAO-56 مقدار  $\alpha$  برای گیاه مرجع 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 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  $\omega_s$  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  $\varphi$  و  $\delta$  به ترتیب عرض جغرافیایی محل و زاویه میل خورشیدی برحسب رادیان بوده و مقدار  $\delta$  برای هر روز معین از سال (روز بر مبنای اول ماه ژانویه)، که 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:

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

فشار بخار واقعی هوا ( $e_a$ ) از رابطه زیر محاسبه 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 که تابعی از درجه حرارت است، از رابطه زیر استفاده شد:

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

که در آن  $T$  میانگین دمای هوا است و مطابق رابطه زیر حاصل شد:

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

ثابت رطوبت سنج ( $\gamma$ ) 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 شده و منعکس شده توسط سطح گیاه مرجع به شکل زیر استفاده شد:

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

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 [6]، در غیر این صورت منجر به رد فرض صفری می‌شود که ذاتاً 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

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

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

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

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

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

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

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

که در آن q تعداد دسته‌های مساوی هم موجود در سری داده‌ها و  $t_p$  تعداد داده‌های مساوی هم در دسته pام

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

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

که در آن  $\sigma$  ثابت استفان-بولتزمن و برابر با  $4/903 \times 10^9 MJ/(K^4 m^2 \text{day})$  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 iام و  $T_{i-1}$  میانگین دمای هوا در ماه i-1ام است. برای محاسبات در مقیاس ماهانه مقدار روز J برای وسط ماه (بر مبنای 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 [6 و 24]: (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 ذاتاً غلط می‌باشد. علاوه بر این، روش MK برای آزمون روند در مطالعات هواشناسی استفاده و توسط سازمان هواشناسی جهانی WMO قویاً توصیه شده است. در این مطالعه نیز از

ماه‌های سرد رطوبت هوا افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار حداکثر رطوبت نسبی هوا در ماه ژانویه و حدود 77٪ است در حالی که کمترین مقدار آن در ماه اوت و حدود 33٪ است. همچنین بیشترین مقدار حداقل رطوبت نسبی هوا در ماه ژانویه و حدود 39٪ است در حالی که کمترین مقدار آن در ماه سپتامبر و حدود 15٪ می‌باشد (شکل 1-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 1-ج). با این حال گرادیان 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 1-ج مشاهده می‌شود متوسط روزانه سرعت باد در ماه ژانویه اندکی بیش از 2 متر بر ثانیه است. این رقم به تدریج افزایش یافته تا اینکه در ماه چهارم (آوریل) سرعت باد به حدود 4 متر بر ثانیه می‌رسد. از ماه آوریل به بعد افزایش سرعت باد به صورت ناگهانی اتفاق می‌افتد، به طوری که سرعت باد از 4 متر بر ثانیه در ماه چهارم به حدود 10 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 7 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 [1]. طبق گزارش نامبردگان وجود سرعت باد بین 2 تا 10 متر بر ثانیه امکان بهره‌برداری بهینه از توربین‌های بادی را فراهم می‌سازد. بررسی وضعیت باد در این ایستگاه و سه ایستگاه دیگر شامل ایستگاه‌های نهبندان، بیرجند و زاهدان در منطقه

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 1 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 1-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 گرم‌ترین ماه سال میانگین حداکثر دمای هوای زابل به حدود 42 درجه سلسیوس می‌رسد. اما در سردترین ماه سال این رقم به حدود 15 درجه سلسیوس تنزل می‌کند. در گرم‌ترین ماه سال میانگین حداقل دمای هوای زابل به حدود 28 درجه سانتیگراد و در سردترین ماه سال این رقم به حدود 2 درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد.

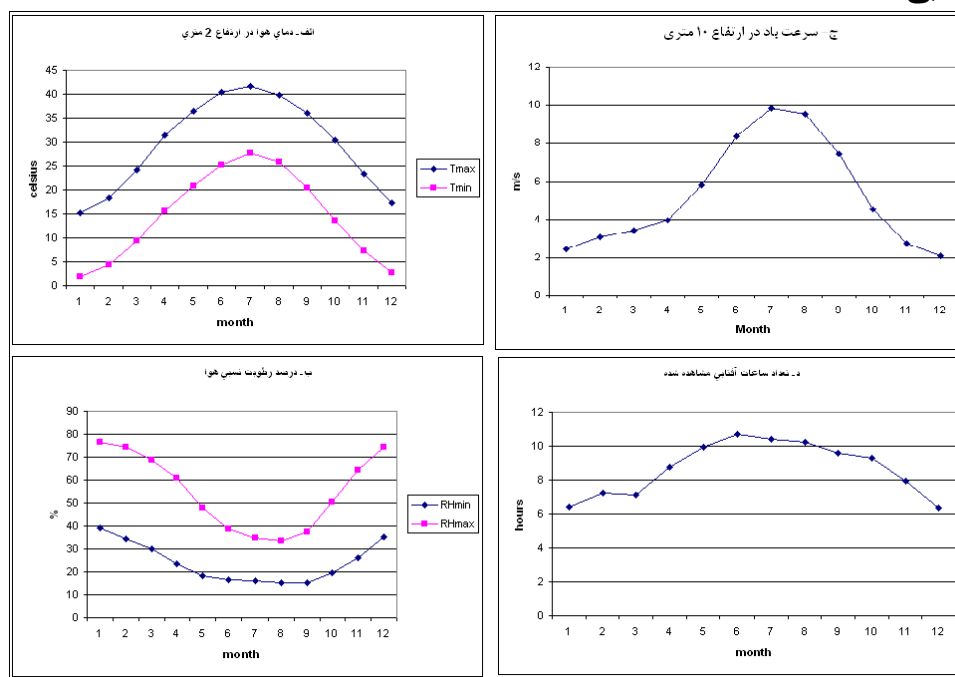
##### ب- حداقل و حداکثر رطوبت نسبی هوا

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 1-ب). بنابراین، مطابق انتظار رطوبت نسبی هوای زابل با دمای هوا نسبت عکس دارد. به عبارت دیگر در گرم‌ترین ماه‌ها رطوبت نسبی هوا به حداقل مقدار خود می‌رسد و برعکس در

تعداد ساعات آفتابی موجود با آفتاب نگار کمپل استوکس اندازه گرفته می شود. به طور متوسط در زابل تعداد ساعات آفتابی موجود از 6/3 ساعت در روز برای سردترین ماه سال (دسامبر) تا 10/7 ساعت در روز برای ماه ژوئن تغییر می کند (شکل 1-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.

سیستان مطالعه شده است [2]. براساس گزارش مذکور جهت غالب باد در زابل شمال غربی است. دوره وزش بادهای شدید زابل 131 روز و از 20 اردیبهشت تا 26 شهریور بوده و سرعت باد در نیمه شب به اوج خود و به بیش از 17 متر بر ثانیه می رسد [2]. 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 (1) از ارتفاع 10 متری به ارتفاع 2 متری تبدیل شد.

#### د- ساعات آفتابی



شکل 1- میانگین متغیرهای هواشناسی در زابل در دوره آماری 1963-2005

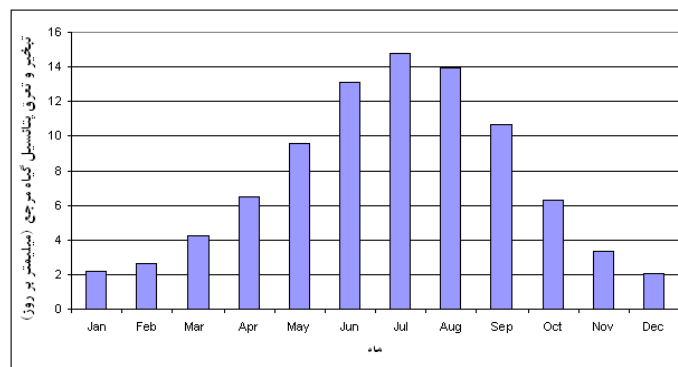
روز در ماه ژوئیه تغییر می کند. نتایج بدست آمده برای سری سالانه  $ET_0$  نشان داد که مقادیر مذکور در ایستگاه زابل از حداقل 2052 میلیمتر در سال 1968 تا حداکثر 3561 میلیمتر در سال 1984 تغییر می کند. در کل دوره آماری این رقم به طور متوسط معادل 2715 میلیمتر در سال است که بیش از 44 برابر میانگین بارش سالانه زابل می باشد و

#### نتایج محاسبات تعرق پتانسیل گیاه مرجع به روش PM در زابل

شکل 2 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 2/08 میلیمتر بر روز در ماه دسامبر تا حداکثر 14/76 میلیمتر بر

2700 میلیمتر را با استفاده از روش لاینکر محاسبه نموده است، همخوانی دارد [8].

نشان دهنده حاکمیت شدید خشکی در این ایستگاه است. این رقم با گزارش دین پژوه نیز برای ایستگاه زابل رقم



شکل 2- میانگین مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در زابل (1963-2005)

بنابراین از جدول 1 مشخص می‌شود که به جز در ماه ژوئن، روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در ماه‌های مختلف سال در زابل و در دوره آماری مذکور در سطح 0/01 بسیار معنی دار است. در ماه ژوئن نیز روند مثبت و در سطح 0/05 معنی دار است. بنابراین می‌توان گفت که در سایر ماه‌های سال روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در زابل بسیار معنی دار بوده است. به طوری که می‌توان استنباط کرد بیشترین روند مثبت متعلق به ماه فوریه است.

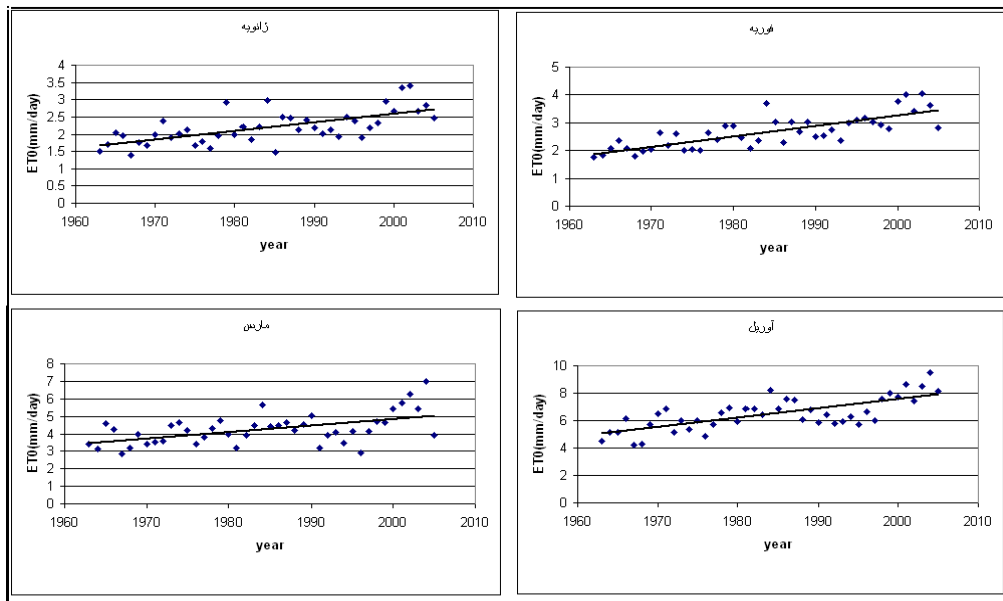
در حالت کلی نتایج محاسبات مربوط به روش MK در مورد سری زمانی میزان  $ET_0$  ماه‌های مختلف سال در دوره آماری مورد بررسی نشان می‌دهد که مقادیر آماره‌های S و Z برای تمام ماه‌های سال مثبت و در سطح 0/05 روند  $ET_0$  ماهانه مثبت و معنی دار است. به جز در ماه ژوئن در سایر ماه‌های سال روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در دوره آماری مذکور در سطح 0/01 بسیار معنی دار است. شیرغلامی و همکارانش نیز بیشترین مقدار شیب خط روند رگرسیونی را در بین تمام 34 ایستگاه مورد مطالعه به میزان 9/19 برای زابل گزارش کرده‌اند [4] که با نتایج تحقیق حاضر کاملاً همخوانی دارد.

### نتایج بررسی روند سری‌های زمانی $ET_0$ ماهانه زابل و علت تغییرات آن

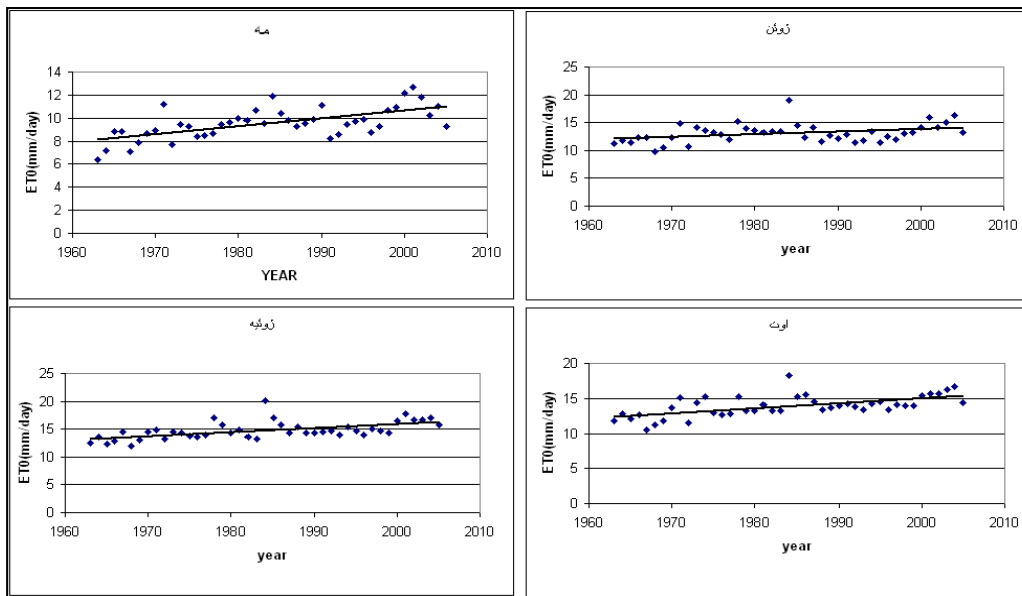
شکل‌های 3 تا 5 روند  $ET_0$  ماهانه زابل را در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. در این شکل‌ها نقاط نشان دهنده میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ماه مورد نظر در هر سال هستند و خط روند نیز روی نقاط داده‌ها رسم شده است. همان‌طور که از این شکل‌ها مشاهده می‌شود بدون استثنا در تمام ماه‌های سال خط روند دارای شیب صعودی است، به عبارت دیگر روند  $ET_0$  زابل در دوره آماری مورد مطالعه در تمام ماه‌ها مثبت و معنی دار است. در نتیجه می‌توان 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 کاملاً 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 زمان‌های خشکسالی و بحران آب می‌باشد [8].

مقادیر آماره Z در روش MK در ماه‌های مختلف سال در جدول 1 نشان داده شده است. باید توجه داشت که در یک تست دو طرفه مقدار حد معنی داری 0/05 معادل 1/965 و برای حد معنی داری 0/01 معادل 3/27 است.

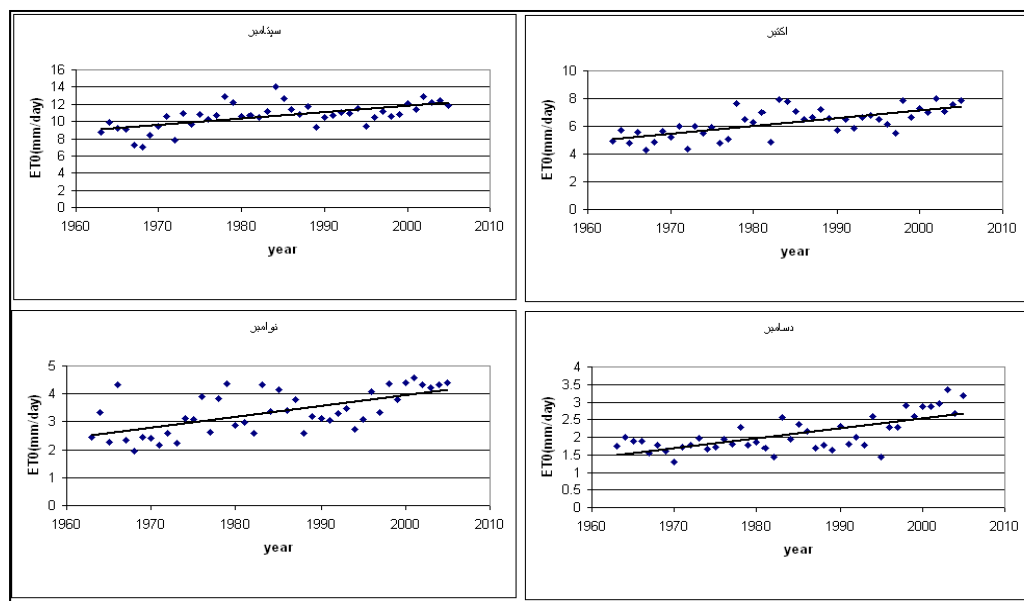




شکل 3- روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در زابل طی ماه های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل (1963-2005)



شکل 4- روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در زابل طی ماه های مه، ژوئن، ژوئیه و اوت (1963-2005)



شکل 5- روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در زابل طی ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر (1963-2005)

جدول 1- مقادیر آماره Z من-کندال سری‌های زمانی تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در زابل (1963-2005)

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
Z*	4/5	5/7	3/4	4/6	4/2	2/5	4/1	4/6	4/3	4/6	4/5	4/2

\* تمام مقادیر جدول در سطح معنی داری 5٪ معنی دار هستند.

\*\* تمام مقادیر به جز ماه ژوئن در سطح معنی داری 1٪ نیز معنی دار هستند.

در 20 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 5٪ معنی دار است [15]. 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 1963-2005 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  $T_{max}$ ،  $T_{min}$ ، 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 [10]. از طرف دیگر با بررسی روند بارندگی

این که کاهش سرعت باد در زابل می‌تواند تاثیر معنی داری در کاهش  $ET_0$  داشته باشد، بنابراین توصیه می‌شود که از بادشکن‌ها در مزارع استفاده شود. بررسی روند تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در سایر ایستگاه‌های کشور به خصوص در ایستگاه‌های مرطوب جهت مطالعات بعدی قویا توصیه می‌شود. مطالعه جنبه‌های مثبت بالا بودن شدت باد در زابل از نظر امکان تحصیل انرژی پاک در این منطقه نیز به شدت توصیه می‌گردد.

### منابع

- 1- جعفری، ح.، س.، شهیدی نژاد، 1381، جایگزینی انرژی باد به جای سوخت‌های فسیلی در پمپاژ آب جهت مصارف کشاورزی، نشریه انرژی ایران، شماره 15، 67-86.
- 2- حسین زاده، س. ر.، 1376، بادهای 120 روزه سیستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال دوازدهم شماره 3، 103-127.
- 3- خیرابی، ج. ع.، توکلی، م. ر.، انتصاری، ع. ر.، سلامت، 1376، معرفی جهات نظری و کاربردی روش پنمن-سمانتیس و ارایه تبخیر تعرق مرجع استاندارد برای ایران، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، 165 صفحه.
- 4- شیرغلامی، ه. ب.، قهرمان، ا.، علیزاده، ج.، بداق جمالی، 1383، بررسی روند تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ایران، پژوهش‌نامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، شماره 3، 27-11.
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 ماه‌های سال بود. بیشترین روند مثبت متعلق به ماه فوریه و کمترین آن مربوط به ماه ژوئن بود که به ترتیب در سطح 1 و 5 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 روش‌های تخمین  $ET_0$  مبتنی بر دمای هوا مانند روش تورنت وایت و پرستلی تایلور در ایستگاه‌هایی نظیر ایستگاه زابل نتایج قابل اعتمادی بدست نخواهد داد زیرا این گونه مدل‌ها عامل سرعت باد را در محاسبه  $ET_0$  دخالت نمی‌دهند. با توجه به اینکه بخش مهمی از آب به مصرف کشاورزی می‌رسد بنابراین، به نظر می‌رسد که مهمترین اثر روند مثبت در میزان  $ET_0$  افزایش نیاز آب آبیاری برای تولید محصولات کشاورزی باشد. مورتون نشان داد که چون در ایستگاه‌های خشک شرایط مرجع وجود ندارد بنابراین بخشی از افزایش  $ET_0$  در این ایستگاه‌ها کاذب و به علت خشکی ایستگاه است [17]، طوری که اگر شرایط مرجع (از قبیل داشتن آب کافی) وجود می‌داشت تبخیر و تعرق روی مشخصات هوای ایستگاه تاثیر می‌گذاشت و هوارا خنک تر، بخار آب هوارا زیادتر، زبری سطح را بیشتر، هر دو مقاومت آئرو دینامیکی و سطحی (استومات‌ها) را بیشتر و در نتیجه میزان  $ET_0$  را کمتر می‌کرد. به عبارت دیگر چون بخشی از انرژی به مصرف تبخیر می‌رسید، در نتیجه دمای هوا خنک تر از مقدار اندازه گیری شده می‌شد. همچنین در این مطالعه مقدار آلیدو 0/23 فرض شد که با توجه به اینکه پوشش سطح زمین در ماه‌های مختلف سال تغییر می‌کند ممکن است با واقعیت مطابقت نداشته باشد و نتایج را تحت تاثیر قرار دهد. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که نیاز آبی محصولات کشاورزی در این منطقه با گذشت زمان زیادتر می‌شود. بنابراین لازم است تدابیر علمی در مورد استفاده مناسب از آب موجود در این منطقه اتخاذ شود. باتوجه 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. Technol.*, 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.