

محاسبه تبخیر-تعرق مرجع بر مبنای تحلیل آماری دمای هوا (مطالعه موردی: منطقه تبریز)

محمد رضا حامی کوچه باغی^{۱*}، امیر حسین ناظمی^۲، علی اشرف صدرالدینی^۲، رضا دلیر حسن‌نیا^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۰

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: abc.m.hami@gmail.com

چکیده

آبیاری برای رشد و تولید محصولات حیاتی است و برای تأمین آن میزان آب موردنیاز باید تعیین شود. در مناطق خشک و نیمه‌خشک پارامتر دما نقش اساسی را در تبخیر-تعرق ایفا می‌کنند. در این تحقیق از احتمال وقوع ۵۰، ۶۵ و ۸۰ درصد برای دمای هوا در محاسبه تبخیر-تعرق استفاده شد. برای محاسبه تبخیر-تعرق از دو رابطه فائو-پنمن-مونتیث و هارگریوز در منطقه تبریز استفاده شد. نتایج برازش داده‌ها نشان داد تابع توزیع ویکبای (wakeby) بین توابع توزیع مورد بررسی بیشترین تطابق را با داده‌های دما در منطقه مورد بررسی از خود نشان داد. در رابطه فائو-پنمن-مونتیث، استفاده از سطوح احتمالات وقوع مختلف برای دمای در محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع، تأثیر ناچیزی در مقادیر به-دست‌آمده داشت و اگر نیاز به محاسبات دقیق نباشد، استفاده از میانگین‌گیری برای داده‌های هواشناسی کافی است. این امر بیان‌گر حساس نبودن رابطه فائو-پنمن-مونتیث نسبت به تغییرات اندک در کمیت‌های ورودی است. اما در رابطه هارگریوز استفاده از سطوح احتمالات وقوع مختلف در برازش داده‌های مربوط به دما، در محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع تأثیر چشم‌گیرتری داشت. در پایان، نتایج دو روش به‌کاررفته در تحقیق با داده تشت تبخیر در منطقه مورد مطالعه مقایسه و ضریب تشت مناسب برای هر روش استخراج گردید. میانگین ضریب تشت در دوره مورد بررسی، برای رابطه پنمن-مونتیث برابر ۰/۶۳ و برای رابطه هارگریوز برابر ۱/۲۲ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: احتمال وقوع، فائو-پنمن-مونتیث، تابع توزیع ویکبای، دمای هوا، ضریب تشت، هارگریوز

Calculation of the Reference Evapotranspiration based on the Statistical Analysis of Air Temperature (case study: Tabriz area)

MR Hami Kouchebagi^{1*}, AH Nazemi², AA Sadraddini², R Delirhasannia³

Received: 13 May 2015

Accepted: 01 October 2016

1- Graduated MSc Student of Irrigation and Drainage Engin., Dept. of Water Engin., Agric., Faculty, Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Assist. Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding Author, Email: abc.m.hami@gmail.com

Abstract

Irrigation is necessary for the crop growth and determining crops water requirement is essential for supplying it. In arid and semi-arid regions, air temperature plays a fundamental role in evapotranspiration process. In this study, the temperature occurrence probabilities at the levels of 50%, 65% and 80% were applied for calculation of evapotranspiration. The Penman-Monteith FAO and Hargreaves equations were used to calculate the evapotranspiration in Tabriz area. The results showed that the Wakeby distribution function had the best adaptation with the temperature data set in the study area. Using different levels of probability for temperature in determining reference evapotranspiration in the Penman-Monteith FAO method, negligible effects were seen in the obtained results so the averaged temperature data was enough for calculations at the cases that there were no needs for precise values. It was concluded that the Penman-Monteith FAO equation was not sensitive to small changes in temperature values, on the contrary in Hargreaves model, using different levels of temperature probability had significant effects on the calculated reference evapotranspiration values. Finally, results of the both methods were compared with the exact evaporation data obtained from pan and the pan coefficient was obtained for each method and suitable pan coefficient values of 0.63 and 1.22 were determined for methods of Penman-Monteith FAO and Hargreaves models, respectively.

Keywords: Air temperatures, FAO Penman-Monteith, Hargreaves, Pan index, Probability of occurrence, Wakeby distribution function

مقدمه

تعرق را به طور دقیق برآورد نمایند ولی برخی از آنها در بعضی مناطق، نتایج مطابق با واقعیت به دست می-دهند (آلن و همکاران ۱۹۹۸). به دلیل شباهت بیشتر یونجه به گیاهان زراعی معمولاً از یونجه به عنوان گیاه مرجع استفاده می-گردد. تحقیق صالح و سندیل (۱۹۸۴) در عربستان مشخص کرد در مناطق خشک و نیمه-خشک، دو پارامتر دما و تشعشع خورشیدی نقش اساسی را تبخیر-تعرق ایفا می-کنند و سایر عوامل در درجه دوم اهمیت قرار دارند. همچنین نتیجه تحقیقات ماکنی و نورمن (۱۹۹۳) در تعیین حساسیت تبخیر-تعرق پتانسیل به تغییر اقلیم، از ۸ مدل برای محاسبه

آبیاری برای رشد و تولید محصولات حیاتی است و برای محاسبه حجم آبیاری نیاز به دانستن میزان تبخیر-تعرق می-باشد. از آنجا که عوامل زیادی در تبخیر-تعرق دخالت دارند، محاسبه دقیق تبخیر-تعرق مشکل می-باشد (ویلیامز ۲۰۰۱). در روش‌های محاسبه-ای که می-توان آنها را روش غیرمستقیم دانست، از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و از طریق ارتباط آنها با تبخیر-تعرق و استفاده از روابطی که قبلاً واسنجی شده‌اند، تبخیر-تعرق پوشش گیاهی تخمین زده می-شود. البته هیچ‌یک از این روش‌ها نمی-توانند تبخیر-

RH_{min} و کمترین آن با مقدار $3/0.03$ مربوط به جفت پارامتر سرعت باد در ارتفاع دو متری U_2 و دمای بیشینه T_{max} به دست آمد. یانگ و یانگ (۲۰۱۲) در بررسی روند تبخیر با استفاده از تشتک‌های تبخیر با مطالعه ۵۴ ایستگاه هواشناسی طی یک دوره ۴۰ ساله در کشور چین، کاهش قابل توجهی را در میزان تبخیر-تعرق مشاهده کردند که این تغییرات و کاهش را نتیجه نوسان میزان پارامترهایی چون دمای هوا، سرعت باد، تابش دریافتی و رطوبت نسبی دانستند. جنسن و همکاران (۱۹۹۰) برای گیاهان با ارزش و یا دارای عمق توسعه ریشه کم، استفاده از سطح احتمالاتی ۸۰٪ تا ۹۰٪ را برای سرعت باد توصیه نموده‌اند تا آسیبی به-علت کم‌آبی به گیاه وارد نشود. برای خاک‌هایی با بافت سبک که ظرفیت نگهداری رطوبت پایینی دارند نیز باید از دور آبیاری کوتاه با سطح احتمالاتی بالاتر نسبت به خاک‌هایی با بافت متوسط و سنگین استفاده کرد. در یک دوره معین باید از میانگین نیاز آبی روزانه با سطح احتمالاتی بالا استفاده نمود (نیکبخت و میرلطیفی ۱۳۸۲). به علت موجود نبود چنین تحقیقاتی در مورد دمای هوا تصمیم به بررسی اثر دما بر روی میزان تبخیر-تعرق گرفته شد. از طرفی معمولاً از احتمال وقوع ۵۰٪ برای محاسبه داده‌های هواشناسی در تعیین تبخیر-تعرق استفاده می‌شود، ولی این مقدار درصد اطمینان پایینی در محاسبات می‌باشد. به همین جهت سطح احتمالاتی ۶۵٪ نیز در این تحقیق انجام شد و با استفاده از سایر اطلاعات هواشناسی و جغرافیایی موجود در این مدت (تابش خورشیدی، سرعت باد و رطوبت هوا)، اقدام به پیش‌بینی میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع، در منطقه تبریز گردید. در این تحقیق میانگین ده روزه برای کمینه، بیشینه و میانگین بیست و چهار ساعته دما محاسبه گردید و پس از برازش توابع آماری بر-روی داده‌ها، اعداد مربوط به احتمال وقوع ۵۰، ۶۵ و ۸۰ درصد به دست آمد و در محاسبات مورد استفاده قرار گرفت.

تبخیر-تعرق استفاده نمودند. نتایج نشان داد که تمامی مدل‌های مورد بررسی به فاکتور دما حساس می‌باشند. طالبی و همکاران (۱۳۸۹) تحقیقی در زمینه بررسی عوامل مؤثر در تبخیر-تعرق گیاه مرجع، با استفاده از تحلیل حساسیت معادله فائو-پنمن-مونتیت و در سه ایستگاه یزد، طبس و مروست انجام دادند. نتایج این تحقیق نحوه اولویت‌بندی پارامترهای اقلیمی و میزان تأثیرگذاری آنها را در ماه‌های مختلف سال در هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داد. براین اساس، تغییرات دو پارامتر بیشینه دما و سرعت باد در سال بیشترین تأثیر را در نوسانات تبخیر-تعرق در هر سه ایستگاه داشته است. همچنین ترتیب اولویت‌بندی عوامل مؤثر در تبخیر-تعرق در فصول مختلف متفاوت بود، به طوری که برای مثال در فصل بهار در هر سه ایستگاه دمای بیشینه، سرعت باد و دمای کمینه به ترتیب مؤثرترین عوامل بودند، در حالی که در فصل پاییز این ترتیب به-صورت سرعت باد، دمای بیشینه و رطوبت نسبی تغییر یافت. بر اساس تحقیقات طالبی و همکاران (۱۳۸۹) دمای هوا و سرعت باد از مهم‌ترین عوامل در تعیین میزان تبخیر-تعرق با استفاده از فائو-پنمن-مونتیت می-باشد. از آنجایی که دما هم به صورت مستقیم و هم به-صورت غیرمستقیم و در محاسبه سایر کمیت‌ها مورد نیاز، در رابطه فائو-پنمن-مونتیت حضور دارد، نمی-توان یک قالب ریاضی خاص برای آن لحاظ نمود. اسلامی و قهرمان (۱۳۹۲) تحقیقی با موضوع تحلیل حساسیت و بررسی عدم قطعیت پارامترهای مؤثر در برآورد تبخیر-تعرق مرجع در مدل‌های با ساختار ریاضی متفاوت انجام دادند. نتایج نشان داد که نااطمینانی داده‌ها در فصول سرد سال بیشتر از فصول گرم سال بوده و تمامی مدل‌های منتخب به دو پارامتر دمای بیشینه و کمینه T_{min} و T_{max} حساسیت بیشتری نسبت به سایر پارامترها داشتند. همچنین بیشترین ضریب همبستگی با مقدار 0.52 مربوط به جفت پارامتر رطوبت نسبی بیشینه و کمینه RH_{max} و

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، از آمار و اطلاعات ایستگاه سینوپتیک تبریز واقع در فرودگاه تبریز در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض ۳۸ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳۶۱ متر

از سطح دریا و در شمال غرب ایران استفاده شده‌است. داده‌ها در دوره آماری ۲۱ ساله بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۳ در دسترس بوده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. خلاصه‌ای از مشخصات اقلیمی این ایستگاه در دوره آماری ذکر شده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خلاصه‌ای از مشخصات اقلیمی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره آماری ۲۱ ساله.

پارامتر	میانگین رطوبت نسبی (%)	میانگین تبخیر-تعرق (mm)	میانگین ساعات آفتابی	میانگین کمینه دما (°C)	میانگین بیشینه دما (°C)	میانگین سرعت باد ($m s^{-1}$)
مقدار	۵۲	۵/۵	۸	۷/۶	۱۲/۶۶	۳

احتمال وقوع P

از آنجایی که داده‌های هواشناسی (دما، سرعت باد رطوبت هوا و ...) از بی‌نهایت مقدار تشکیل شده‌اند، کمیت‌های پیوسته‌ای می‌باشند و احتمال وقوع هر مقدار برابر صفر می‌باشد $\left(P = \frac{1}{\infty} = 0\right)$ و صحبت از یک عدد به‌عنوان احتمال وقوع عملاً بی‌معنی است. اگر هر داده هواشناسی را یک داده احتمالاتی در نظر بگیریم، صحبت از احتمال یا احتمال وقوع به معنی احتمال وقوع با مقدار کمتر یا مساوی با همان احتمال تجمعی می‌باشد (ریچاردسون ۱۹۸۱).

دمای هوا از طریق اندازه‌گیری‌های انجام‌یافته توسط ایستگاه سینوپتیک فرودگاه تبریز در دسترس قرار گرفت. میانگین دهم‌روزه برای کمینه، بیشینه و میانگین بیست و چهار ساعته دما محاسبه گردید و پس از برآزش توابع آماری بر روی داده‌ها، اعداد مربوط به احتمال وقوع ۵۰، ۶۵ و ۸۰ درصد به دست آمد و در محاسبات مورد استفاده قرار گرفت.

نکته‌ای در مورد کمینه دما وجود دارد و آن این‌که در استفاده از نرم‌افزار ایزی‌فیت^۱ برای برآزش داده‌ها، داده‌ها به صورت صعودی مرتب می‌شوند. به‌عنوان مثال، ۳-، ۱-، ۰ و ۱ در این صورت مقادیر بزرگ برای

احتمالات بزرگ به دست می‌آید. در مثال فوق برای احتمال وقوع ۷۵ درصد عدد صفر به دست می‌آید. حال آن‌که در مورد داده‌های مورد نیاز ما، می‌باید ترتیب چینش داده‌ها به صورت نزولی باشد یعنی ۱، ۰، ۱- و ۳- تا این که اعداد کوچکتر برای احتمالات بزرگتر به دست آید (در این حالت احتمال وقوع ۷۵ درصد، عدد ۱- می‌باشد). برای رفع این مشکل، به جای احتمال ۸۰ درصد از مقادیر حاصل از احتمال مکمل یعنی ۲۰ درصد استفاده شد. به همین ترتیب به جای احتمال ۶۵ درصد، از مقادیر حاصل از احتمال ۳۵ درصد استفاده شد و در مورد احتمال وقوع ۵۰ درصد، نتایج یکسان بود. به منظور برآزش توابع آماری بر روی داده‌ها و انجام آزمون نیکویی برآزش، از نرم‌افزار ایزی‌فیت استفاده شد.

آزمون نیکویی برآزش

در آزمون‌های آماری معمولاً نوع توزیع احتمال را با استفاده از منحنی فراوانی داده‌ها و یا از راه تجربه دیگران حدس زده و آن را معلوم می‌کنند و آزمون را درباره پارامتر مجهول این توزیع انجام می‌دهند. ولی ممکن است درباره این توزیع که از قبل حدس زده‌ایم، چندان مطمئن نباشیم و بخواهیم حدس خود را بیازماییم.

$$ET = k_c \cdot ET_o \quad [۳]$$

که در آن ET تبخیر-تعرق واقعی، ET_o تبخیر-تعرق مرجع و k_c ضریب گیاهی می‌باشد.

تبخیر-تعرق مرجع بستگی به مقدار انرژی موجود برای عمل تبخیر-تعرق داشته و از روزی به روز دیگر متغیر است (پیرا و همکاران ۱۹۹۵). نتیجه تحقیقات مالوپا و پاپادوپولز (۱۹۹۳) نشان می‌دهد، تفاوت میان گونه‌ها به پتانسیل ژنتیک مخصوص خودشان بستگی دارد و تبخیر-تعرق گیاهی معمولاً کمتر از تبخیر-تعرق سطح مرجع است. مشخص شده است که نزدیک‌ترین جواب‌های حاصل به داده‌های لایسیمتری از معادله پنمن مونتیت فائو با اعمال ضرایب ماهانه و پس از آن با ضرایب سالانه به دست آمده است (موسوی بایگی و همکاران ۱۳۸۷). از بین روش‌های متعدد ارائه شده برای تعیین میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع، در روابط متعددی وابستگی به دما وجود دارد که در این تحقیق دو مورد از پرکاربردترین روابط مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در زیر به آنها اشاره می‌شود.

معادله فائو-پنمن-مونتیت

در سال ۱۹۹۰ از سوی کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID) و سازمان خوار و بار جهانی (FAO) روش فائو-پنمن-مونتیت به‌عنوان روش استاندارد برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع (گیاه مرجع، چمن فرضی در نظر گرفته می‌شود) و با استفاده از داده‌های هواشناسی پیشنهاد شده است (آلن و همکاران ۱۹۹۸). این معادله براساس روش‌های توازن انرژی و آیرودینامیک روی یک سطح مرطوب پوشیده از گیاه فرضی ارائه شده است و می‌تواند نیاز آبی گیاه را واقعی‌تر بیان کند. برای استفاده از این رابطه گیاه چمن به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر و مقاومت روزنه‌ای ۷۰ ثانیه بر متر و ضریب بازتاب ۰/۲۳ با این فرض که شاخص

به‌طور کلی می‌خواهیم ببینیم که آیا X (داده‌های موجود) دارای توزیع $F_n(x)$ است یا نه. توزیع $F_n(x)$ را توزیع برازنده بر x و یا توزیع جور با یافته‌های x می‌گویند. آزمونی که برای این منظور به کار می‌رود، آزمون نیکویی برازش گفته می‌شود (فروند ۲۰۰۹). مناسب‌ترین شاخص برای مقایسه توابع توزیع، آماره آزمون کولموگروف اسمیرنوف D تشخیص داده شد. این آزمون برپایه تابع توزیع تجمعی تجربی بنا شده است. اگر یک نمونه تصادفی x_1, \dots, x_N از برخی توزیع‌ها، با تابع توزیع تجمعی $F_n(x)$ داشته باشیم، تابع توزیع تجمعی تجربی به صورت $\frac{1}{n}$ تعداد مشاهدات با مقدار کمتر یا مساوی x نشان داده می‌شود (فروند ۲۰۰۹).

$$F_n(x) = \frac{1}{n} [\text{Number of observation} \leq x] \quad [۱]$$

آماره کولموگروف اسمیرنوف (D) بر اساس بزرگترین اختلاف عمودی بین مقادیر نظری و تابع توزیع تجمعی تجربی استوار است (کُردر و فُرمان ۲۰۱۴).

$$D = \max_{1 \leq i \leq n} \left(F(x_i) - \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n} - F(x_i) \right) \quad [۲]$$

اندازه‌گیری تبخیر-تعرق

اندازه‌گیری تبخیر-تعرق ساده نمی‌باشد و برای تعیین آن، تجهیزات خاص و اندازه‌گیری‌های دقیق عوامل متفاوت فیزیکی یا بیلان آب خاک مورد نیاز است. این-گونه روش‌ها اغلب پرهزینه بوده و نیاز به دقت در اندازه‌گیری دارند و فقط توسط افراد آموزش دیده و مجرب، قابل اجرا می‌باشند. هرچند این روش‌ها برای اندازه‌گیری‌های عادی مناسب نمی‌باشند، ولی برای ارزیابی برآورد تبخیر-تعرق، روش‌های غیرمستقیم‌تر، اهمیت دارند (آلن و همکاران ۱۹۹۸). تمامی روش‌های غیرمستقیم تعیین تبخیر-تعرق گیاهی براساس رابطه ۳ استوار است.

روش هارگریوز

این روش برای دوره‌های یک تا چند روزه، هفتگی، ده روزه و ماهانه به کار برده می‌شود. اما بهترین نتیجه را برای دوره‌های هفتگی و ده‌روزه به دست آمده است. تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن ET_o براساس روش پیشنهادی هارگریوز از معادله ۵ به دست می‌آید (آلن و همکاران ۱۹۹۸):

$$ET_o = 0.0023R_a (T + 17.8) \sqrt{TR} \quad [5]$$

که در آن R_a شار انرژی تابشی برون زمینی است و T میانگین دمای روزانه که با میانگین‌گیری از دمای بیشینه T_{max} و دمای کمینه T_{min} به دست می‌آید.

$$T = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad [6]$$

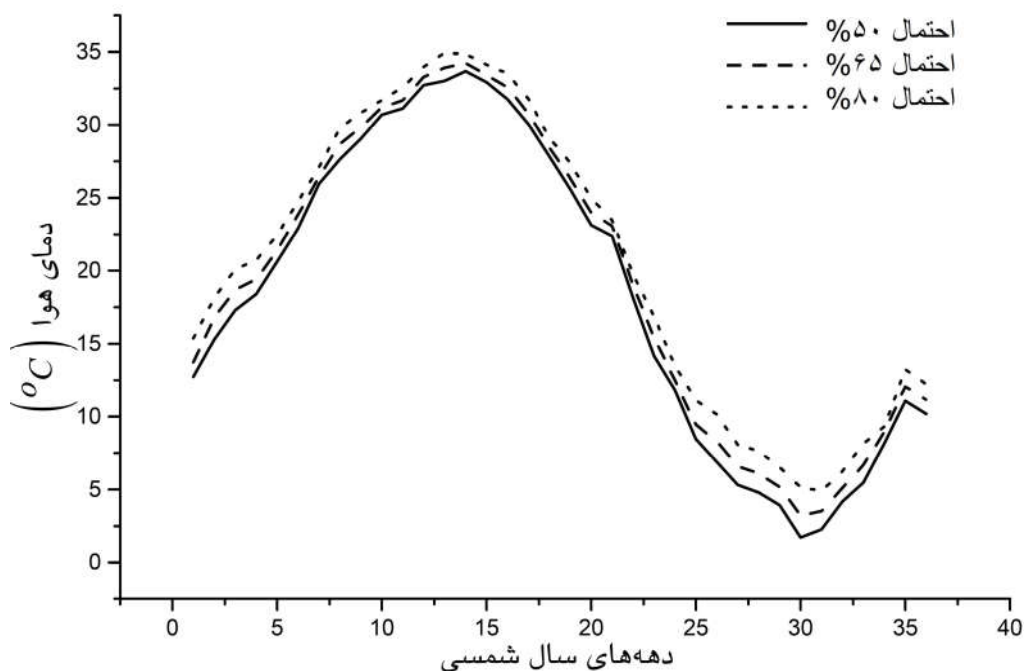
TR اختلاف بین دمای بیشینه T_{max} و دمای کمینه T_{min} می‌باشد (آلن و همکاران ۱۹۹۸).

$$TR = T_{max} - T_{min} \quad [7]$$

سطح آن ۲۴ برابر ارتفاع گیاه باشد در نظر گرفته می‌شود. این رابطه به صورت معادله ۴ است:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

که در آن ET_o تبخیر-تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)، R_n شار انرژی تابشی خالص در سطح پوشش گیاهی (مگاژول بر متر مربع در روز)، T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (درجه سلسیوس)، U_2 متوسط سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (کیلو پاسکال)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)، γ ضریب رطوبتی (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) و G شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر متر مربع در روز) می‌باشد. جزئیات بیشتر از نشریه فائو ۵۶ قابل استخراج است (آلن و همکاران ۱۹۹۸).



شکل ۱- مقادیر بیشینه دما در دهه‌های سال شمسی به‌ازای احتمالات وقوع مختلف.

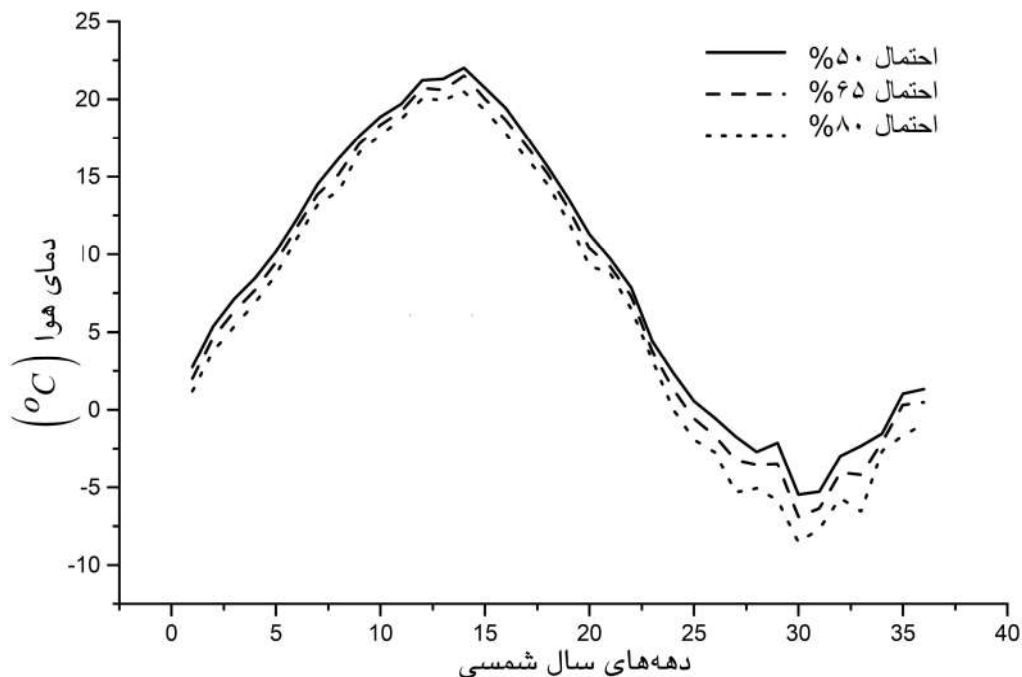
نتایج و بحث

دمای هوا

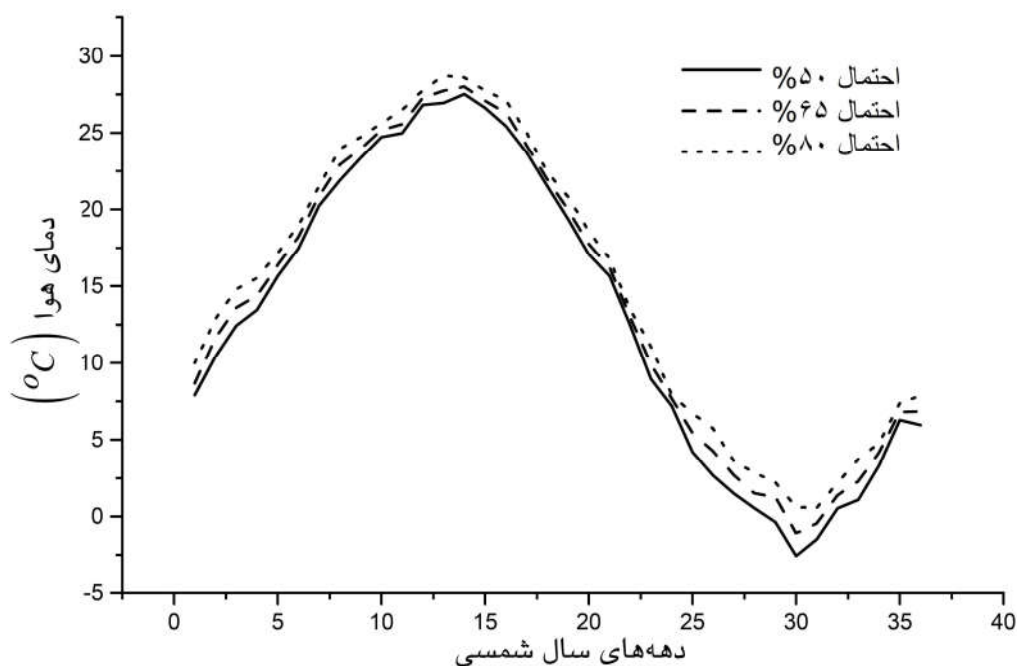
احتمالات وقوع مختلف برای کمینه، بیشینه و میانگین بیست و چهار ساعته دما در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ موجود می‌باشد. در تمامی موارد با شروع فصل بهار، دما رو به افزایش گذاشته و با عبور از نیمه تابستان حالت نزولی به خود می‌گیرند.

برازش توابع آماری بر روی داده‌ها، توسط نرم‌افزار ایزی‌فیت انجام شد و توابع توزیع برمبنای آماره آزمون کولموگروف اسمیرنوف D مرتب گردیدند. توابع توزیع به منظور معرفی بهترین تطابق با داده‌های موجود برای دمای هوا، رتبه‌بندی شدند. به این ترتیب که به تمامی

توابع رتبه‌ای از یک تا شصت و پنج (به تعداد توابع توزیع موجود در نرم‌افزار) داده‌شد در نهایت رتبه‌های داده‌شده به هر تابع توزیع، با هم‌دیگر جمع می‌شوند و تابع توزیعی با کمترین رتبه به‌عنوان تابع توزیعی با بهترین تطابق معرفی گردید. در تمامی موارد بررسی (کمینه، بیشینه و میانگین بیست و چهار ساعته دما و کل ۱۰۸ آزمون)، تابع توزیع ویکبای (wakeby) کمترین رتبه را از آن خود نموده است و بهترین تطابق با داده‌ها را دارد و اگر نیاز به استفاده از فقط یک تابع توزیع به منظور برازش داده‌های دما در منطقه باشد، تابع توزیع ویکبای (wakeby) انتخاب مناسبی به نظر می‌رسد.



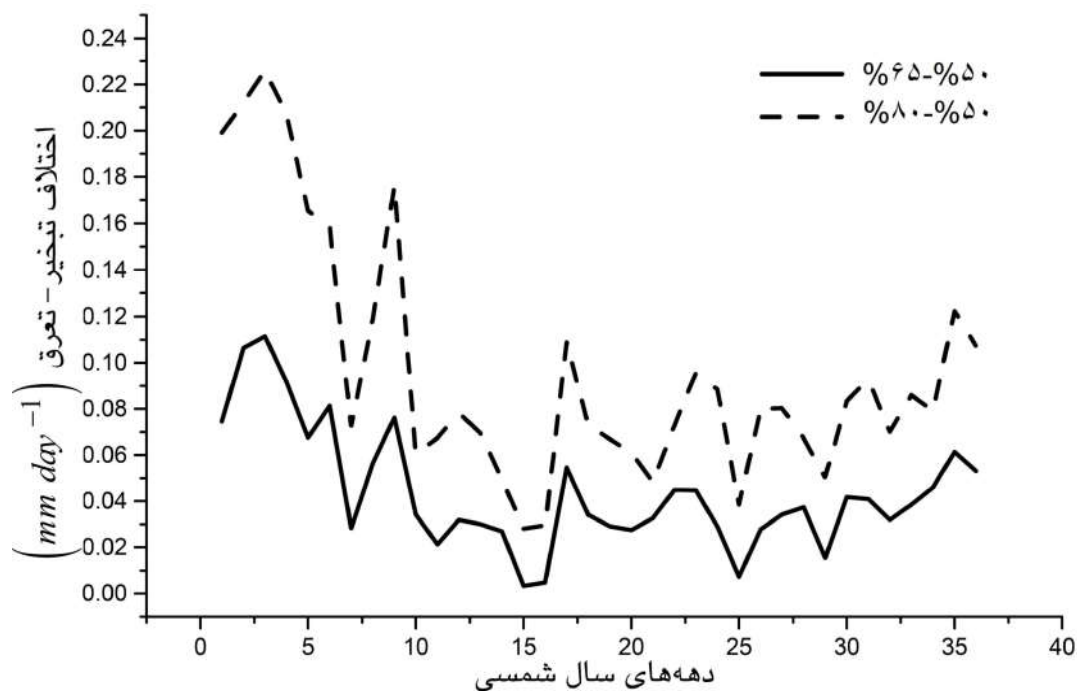
شکل ۲- مقادیر کمینه دما در دهه‌های سال شمسی به‌ازای احتمالات وقوع مختلف.



شکل ۳- مقادیر روزانه دما در دهه‌های سال شمسی به‌ازای احتمالات وقوع مختلف.

تبخیر-تعرق گیاه مرجع تأثیر ناچیزی در مقادیر تبخیر-
تعرق به‌دست آمده داشت.

تأثیر دمای هوا بر تبخیر-تعرق
استفاده از سطوح احتمالات وقوع مختلف برای کمینه،
بیشینه و میانگین بیست و چهار ساعته دما در محاسبه

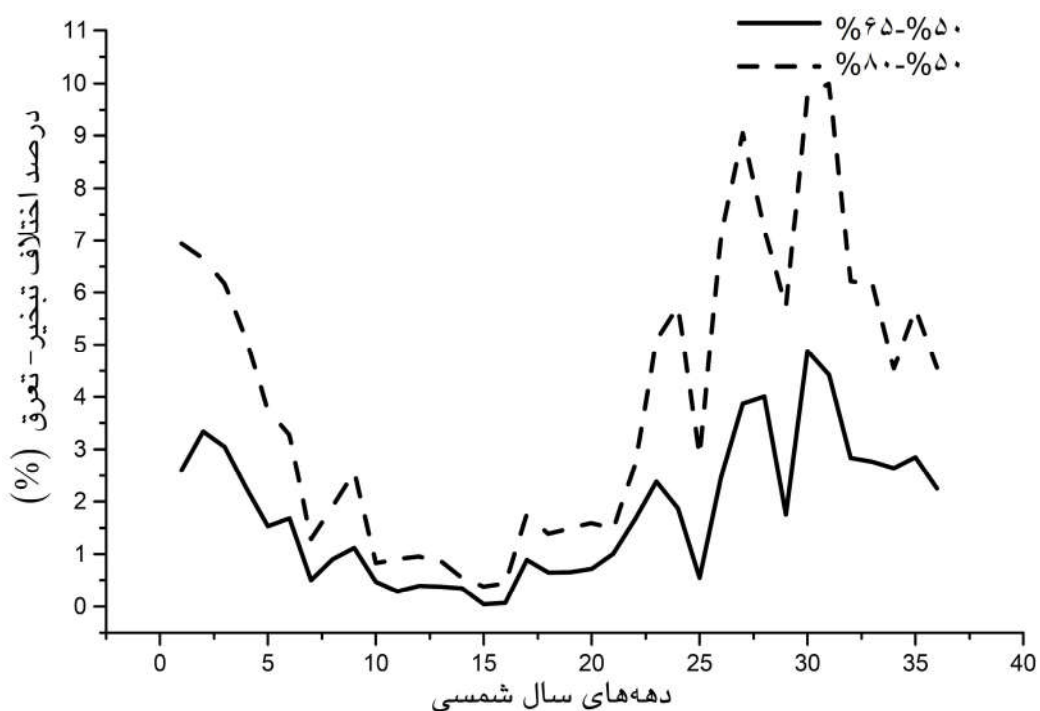


شکل ۴- اختلاف مقادیر تبخیر-تعرق به‌روش فائو-پنمن-مونتیث بین سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ با ۶۵٪ و ۵۰٪ با ۸۰٪ برای دمای هوا.

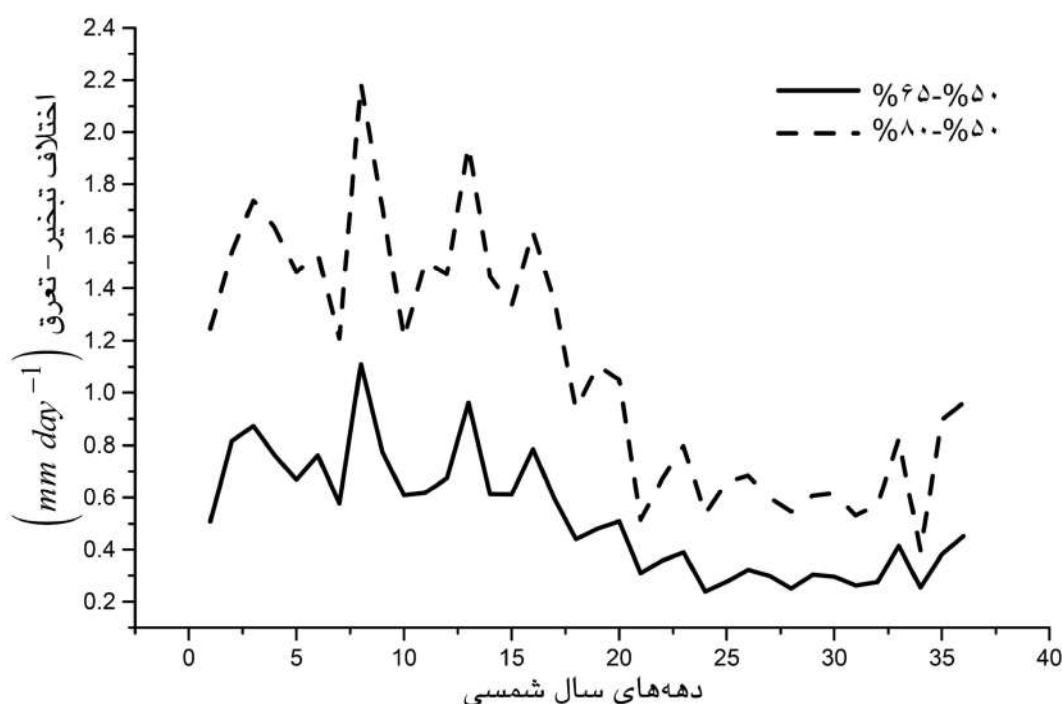
دهه اول بهمن ماه برای سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۸۰٪ می‌باشد.

درکل با بررسی نتایج به دست آمده از مقادیر محاسبه شده توسط رابطه فائو-پنمن-مونتیت این نتیجه به دست می‌آید که رابطه فائو-پنمن-مونتیت به تغییرات اندک در مقادیر ورودی حساس نیست و درعمل تفاوت معنی‌داری در استفاده از سطوح احتمالات وقوع مختلف در محاسبه تبخیر-تعرق با روش فائو-پنمن-مونتیت، وجود ندارد و برای سادگی کار استفاده از مقادیر میانگین توصیه می‌شود و نیازی به انجام محاسبات سنگین برای یافتن سطوح احتمالات وقوع مختلف برای محاسبه تبخیر-تعرق با روش فائو-پنمن-مونتیت وجود ندارد.

بیشترین اختلاف در میزان تبخیر-تعرق بین سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۶۵٪ برای دما، به اندازه ۰/۱۱۱ میلی‌متر معادل ۳/۰۴ درصد در دهه سوم فروردین ماه به دست آمد و برای سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۸۰٪، اختلافی به اندازه ۰/۲۲۶ معادل ۶/۱۷ درصد مربوط به همان دهه از سال شمسی وجود داشت. سایر مقادیر اختلاف و درصد اختلاف بین سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۶۵٪ و سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۸۰٪ برای دمای هوا در شکل‌های ۴ و ۵ آمده است. همان‌گونه که در شکل ۵ دیده می‌شود، بیشترین درصد اختلاف در مقدار تبخیر-تعرق مربوط به ماه‌های سرد سال و آن هم به علت کوچک بودن مقدار تبخیر-تعرق در آن ماه‌ها می‌باشد. این مقدار ۴/۸۸ درصد در دهه سوم دی ماه برای سطوح احتمالات تجمعی ۵۰٪ و ۶۵٪ و ۱۰ درصد در



شکل ۵- درصد اختلاف مقادیر تبخیر-تعرق به روش فائو-پنمن-مونتیت بین سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ تا ۶۵٪ و ۵۰٪ تا ۸۰٪ برای دمای هوا.

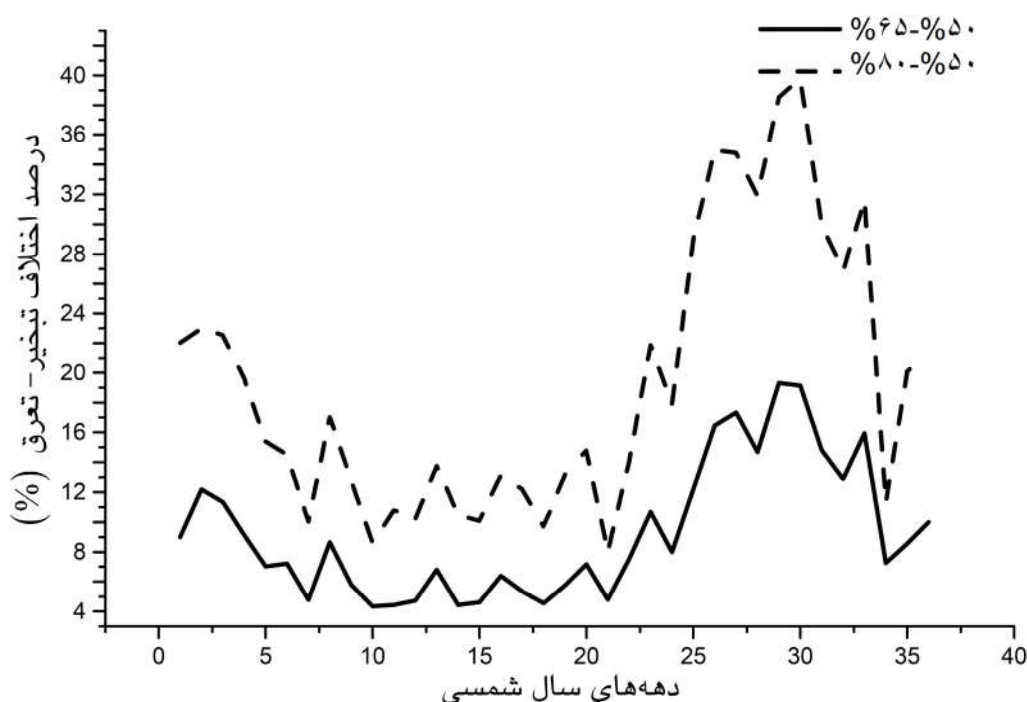


شکل ۶- اختلاف مقادیر تبخیر-تعرق به روش هارگریوز بین سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ با ۶۵٪ و ۵۰٪ با ۸۰٪ برای دمای هوا.

وقوع ۵۰٪ و ۸۰٪ برای دمای هوا در شکل‌های ۶ و ۷ آمده است.

آن‌گونه‌که در شکل ۷ دیده می‌شود، بیشترین درصد اختلاف در مقدار تبخیر-تعرق مربوط به ماه‌های سرد سال می‌باشد. این مقادیر به اندازه ۱۹/۳۱ درصد در دهه دوم دی ماه برای سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۶۵٪ و ۳۹/۷۶ درصد در دهه سوم دی ماه برای سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۸۰٪ می‌باشد. شایان ذکر است که مقادیر تبخیر-تعرق به دست آمده از طریق رابطه هارگریوز به مراتب بیشتر از مقادیر تبخیر-تعرق به دست آمده از طریق رابطه پنمن مونتیت فائو و در حدود دو برابر آن می‌باشد و به نظر می‌رسد در کل استفاده از رابطه هارگریوز در تبریز نتایج قابل قبولی به دست ندهد.

در رابطه هارگریوز وضعیت متفاوت است چراکه استفاده از سطوح احتمالات وقوع مختلف در برآزش داده‌های مربوط به دما، در محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع تاثیر چشمگیری داشت (شکل ۶). به گونه‌ای که بیشترین اختلاف در میزان تبخیر-تعرق بین سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۶۵٪ برای دما، به اندازه ۱/۱۰۸ میلی‌متر معادل ۸/۶۴ درصد در دهه دوم از دی ماه شد و برای سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۸۰٪، اختلافی به اندازه ۲/۱۸ معادل ۱۷/۰۴ درصد مربوط به دهه دوم خرداد ماه وجود داشت. علت این اختلاف زیاد در میزان تبخیر-تعرق به دست آمده با روش هارگریوز، استفاده از فقط کمیت دما و تابش برون زمینی می‌باشد و سایر عوامل جوی نادیده گرفته شده است. سایر مقادیر اختلاف و درصد اختلاف در میزان تبخیر-تعرق بین سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۶۵٪ و سطوح احتمالات



شکل ۷- درصد اختلاف مقادیر تبخیر-تعرق به روش هارگریوز بین سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ تا ۶۵٪ و ۵۰٪ تا ۸۰٪ برای دمای هوا.

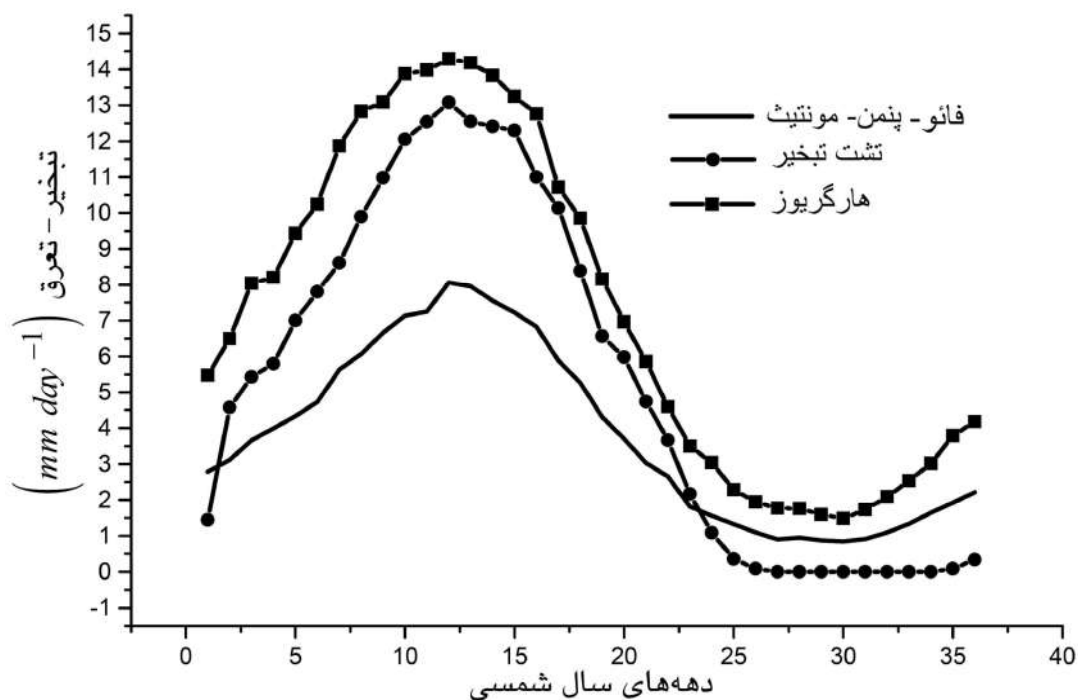
آمده از رابطه هارگریوز بیشتر از مقادیر تشت تبخیر می‌باشد که قبلاً درباره غیرقابل قبول بودن این نتایج صحبت شد.

با استفاده از رابطه ۳ ضریب تشت برای داده‌های به-دست آمده از رابطه فائو-پنمن-مونتیت و هارگریوز و برای دهه‌های سال در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود فقط داده‌های دهه دوم فروردین تا دهه اول آبان قابل استفاده بود که نحوه تغییرات در شکل دیده می‌شود. برای هر دو رابطه و با شروع از دهه دوم فروردین ماه، میزان عددی ضریب تشت شروع به کاهش می‌نماید. کمترین میزان ضریب تشت برای رابطه پنمن مونتیت در دهه دوم تیر ماه و به اندازه $k_p = 0.57$ و برای رابطه هارگریوز در دهه سوم تیر ماه و به اندازه $k_p = 1.09$ می‌باشد. با عبور از تابستان، دوباره ضریب تشت افزایش می‌یابد.

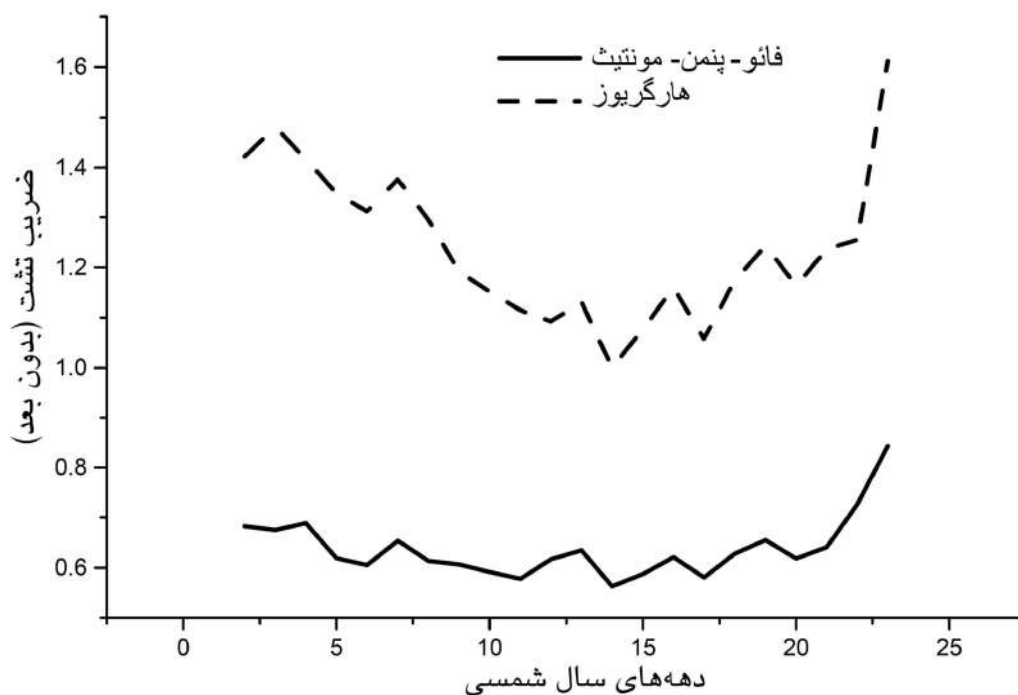
مقایسه نتایج با داده‌های تشت تبخیر

نتایج داده‌های پانزده ساله تشت تبخیر پس از میانگین‌گیری برای دهه‌های سال، در شکل ۸ نشان داده شده است. در این شکل علامت مربع بیانگر داده‌های به‌دست آمده از طریق رابطه فائو-پنمن-مونتیت، دایره بیانگر داده‌های به‌دست آمده از طریق رابطه هارگریوز و مثلث بیانگر داده‌های به‌دست آمده از تشت تبخیر می‌باشد (از مقادیر تبخیر-تعرق به‌دست آمده از طریق محاسبه با استفاده از مقادیر میانگین کمیت دما، برای مقایسه استفاده شده است). همان‌گونه که مشاهده می‌شود، از دهه دوم آذر ماه تا دهه سوم اسفند ماه، داده‌های موجود عدد صفر را نشان می‌دهند که حاکی از عدم اندازه‌گیری تبخیر-تعرق در این بازه ۱۰۰ روزه می‌باشد.

مقادیر به‌دست آمده از رابطه فائو-پنمن-مونتیت (به-جز در مواردی که مقادیر صفر یا نزدیک به صفر است) کمتر از مقادیر تشت تبخیر می‌باشد ولی مقادیر به‌دست-



شکل ۸- میزان تبخیر-تعرق به دست آمده از تشت تبخیر و محاسبه شده از طریق روابط فائو-پنمن-مونتیث و هارگریوز.



شکل ۹- ضریب تشت برای داده‌های به دست آمده از فائو-پنمن-مونتیث و هارگریوز برای دهه‌های سال.

ضریب تشت برای رابطه فائو-پنمن-مونتیث عددی کوچکتر از یک است ولی برای رابطه هارگریوز این مقدار بزرگتر از یک می‌باشد. ضریب تشت پیشنهاد

مقادیر میانگین ضریب تشت در دوره دهه‌های دهم تا سیام سال، برای رابطه پنمن مونتیث برابر $k_p = 0.63$ و برای رابطه هارگریوز برابر $k_p = 1.22$ می‌باشد.

مربوط به دما، در محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع تاثیر چشمگیری نشان داد. به گونه‌ای که بیشترین اختلاف در میزان تبخیر-تعرق بین سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۶۵٪ برای دما، به اندازه ۱/۱۰۸ میلی متر معادل ۸/۶۴ درصد و برای سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۸۰٪، اختلافی به اندازه ۲/۱۸ معادل ۱۷/۰۴ درصد وجود داشت. مقایسه نتایج به دست آمده از طریق محاسبه با نتایج تشت تبخیر و رابطه فائو- پنمن- مونتیت و هارگریوز انجام گرفت و کمترین میزان ضریب تشت برای رابطه فائو- پنمن- مونتیت در دهه دوم تیر ماه و به اندازه $k_p = 0.57$ و برای رابطه هارگریوز در دهه سوم تیر ماه و به اندازه $k_p = 1.09$ به دست آمد. میانگین ضریب تشت در دوره مورد بررسی، برای رابطه فائو- پنمن- مونتیت برابر $k_p = 0.63$ و برای رابطه هارگریوز برابر $k_p = 1.22$ می‌باشد. ضریب تشت برای رابطه فائو- پنمن- مونتیت تایید کننده مقادیر ضریب تشت پیشنهاد شده برای کاربردهای معمول که عدد ۰/۶۶ می‌باشد.

شده برای کاربردهای معمول عدد ۰/۶۶ می‌باشد (پیرا و همکاران ۱۹۹۵) که به ضریب تشت به دست آمده برای رابطه پنمن مونتیت نزدیکتر است.

نتیجه‌گیری کلی

در تمامی موارد مورد بررسی، تابع توزیع ویکبای (wakeby) بیشترین امتیاز را از آن خود نمود و اگر نیاز به استفاده از فقط یک تابع توزیع به منظور برازش داده‌های دما در منطقه باشد، تابع توزیع ویکبای (wakeby) انتخاب مناسبی به نظر می‌رسد. در استفاده از سطوح احتمالات وقوع مختلف برای کمینه، بیشینه و میانگین ۲۴ ساعته دما برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع، بیشترین اختلاف در میزان تبخیر-تعرق به دست آمد توسط رابطه فائو- پنمن- مونتیت بین سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۶۵٪ برای دما، با مقدار میانگین ۰/۰۴ میلیمتر معادل ۱/۸ درصد و برای سطوح احتمالات وقوع ۵۰٪ و ۸۰٪، اختلافی با مقدار میانگین ۰/۰۹ معادل ۳/۹ درصد وجود داشت. در رابطه هارگریوز استفاده از سطوح احتمالات وقوع مختلف در برازش داده‌های

منابع مورد استفاده

- اسلامی ا و قهرمان ب، ۱۳۹۲. آنالیز حساسیت و بررسی عدم قطعیت پارامترهای موثر در برآورد تبخیر-تعرق مرجع در مدل های با ساختار ریاضی متفاوت. مجله آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۷، صفحه‌های ۶۸ تا ۷۹.
- طالبی ع، پورمحمدی س و رحیمیان م ح، ۱۳۸۹. بررسی عوامل مؤثر در تبخیر-تعرق مرجع، با استفاده از آنالیز حساسیت معادله فائو- پنمن- مونتیت، مطالعه موردی: ایستگاه‌های یزد، طبس و مروست. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، جلد ۷۳، صفحه‌های ۹۷ تا ۱۱۰.
- موسوی بایگی م، عرفانیان م و سرمد م، ۱۳۸۷. استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره ۱، صفحه‌های ۹۱ تا ۹۹.
- نیکبخت ج، میرلطفی س م، ۱۳۸۲. تأثیر روش محاسبه ET_0 ، احتمال وقوع و طول دوره حداکثر مصرف آب بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع روزانه. مجله علوم آب و خاک، جلد ۲، صفحه‌های ۱۸۹ تا ۲۳۰.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M, 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No 56, Rome, Italy.
- Corder GW and Foreman DI, 2014. Nonparametric Statistics: A Step-by-Step Approach. Wiley.
- Freund JE, 2009. Mathematical Statistics with Applications. 7th Ed, Pearson Education.

- Jensen ME, Burman RD and Allen RG, 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirement. ASCE Manual, USA, 70: 332p.
- Makenney MS and Norman JR, 1993. Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 64: 81-110.
- Maloupa EA, Papadopoulos SB, 1993. Evapotranspiration and preliminary crop Coefficient of Gerbera Soil less Culture Grown in Plastic Greenhouse, *Acta Horticulturae*, 335: 270-280.
- Pereira AR, Villa Nova NA, Pereira AS and Barbieri V, 1995. A model for the class a pan coefficient. *Agricultural and Forest Meteorology* 76(1): 75- 82.
- Richardson CW, 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation. *Water Resources Research* 17(1): 182-190.
- Salih AMA and Sendil U, 1984. Evapotranspiration under extremely arid climates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 110(3): 289-303.
- Williams LE, 2001. Irrigation of winegrapes in California. *Practical Winery & Vineyard* 23(1): 42-55.
- Yang H and Yang D, 2012. Climatic factors influencing changing pan evaporation across China from 1961 to 2001. *Journal of Hydrology* 414-415: 184-193.