



بررسی مدل مناسب تعیین نیاز آبی زعفران (*Crocus sativus* L.) و تعیین میزان تنش‌های آبی وارد

محسن احمدی^{1*}، عباس خاشعی سیوکی² و محمد حسن سیاری³

تاریخ دریافت: 1393/07/30

تاریخ پذیرش: 1394/05/07

احمدی، م.، خاشعی سیوکی، ع. و سیاری، م. ح. 1395. بررسی مدل مناسب تعیین نیاز آبی زعفران (*Crocus sativus* L.) و تعیین میزان تنش‌های آبی وارد. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی 8(4): 505-520.

چکیده

زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاهی نیمه‌گرمسیری است که کشت آن در استان‌های خراسان جنوبی و رضوی از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به اهمیت مقدار آب آبیاری در عملکرد زعفران، این تحقیق به منظور تعیین مناسب‌ترین معادله تبخیر- تعرق نسبت به مدل فائو پنمن مانیتیت (و ارائه یک مدل تک پارامتره) در دشت بیرجند انجام شد. بدین منظور از آماره‌های R^2 ، MBE، RMSE و EF برای مقایسه معادلات تبخیر- تعرق نسبت به معادله فائو- پنمن- مانیتیت استفاده شد. همچنین مقدار آب آبیاری توسط کشاورزان در این دشت تعیین گردید و با نیاز آبی به دست آمده توسط معادله فائو- پنمن- مانیتیت مقایسه شد. نتایج نشان داد که معادلات بلانی- کریدل، جنسن- هیز اصلاح شده و هارگریوز از دقت بهتری نسبت به سایر معادلات برخوردار بودند. همچنین نیاز آبی زعفران در دشت بیرجند با استفاده از روش فائو- پنمن- مانیتیت 2350 مترمکعب در هکتار برای یک فصل زراعی برآورد شد و معادله هارگریوز با اختلاف 161/23- مترمکعب در هکتار نسبت به این روش، به عنوان مدلی مناسب تعیین گردید. همچنین با ارائه مدل تک پارامتره مبتنی بر دما مشاهده شد که این معادله تک پارامتره، برآورد دقیقی نسبت به سایر روش‌های تعیین تبخیر- تعرق داشت. اختلاف آب به کار برده شده توسط کشاورزان و نیاز آبی برآورد شده توسط معادله فائو- پنمن- مانیتیت برابر 1184/17 مترمکعب در هکتار برای یک فصل زراعی تعیین گردید. با توجه به پراکندگی مزارع زعفران و عدم دسترسی به همه پارامترهای هواشناسی، استفاده از معادله هارگریوز و معادله تک پارامتره مبتنی بر میانگین دما، به منظور تعیین دقیق نیاز آبیاری، پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، مدل تک‌پارامتره، مدل فائو پنمن مانیتیت

مقدمه

خوبی دارد (Behnia, 1989). بنه‌های این گیاه در تابستان به صورت راکد در زمین باقی می‌ماند و از اوایل پاییز رشد دوباره خود را آغاز می‌کند (Bari Abarghoei et al., 2001). بر اساس گزارش‌های منتشر شده میزان تولید سالیانه زعفران در جهان حدود 200 تن می‌باشد (Ehsanzadogh et al., 2004; Rezvani-Moghaddam et al., 2007) که با توجه به این که ایران منشأ اصلی کشت این گیاه بوده (Mollafilabi, 2004; Mobaraki, 2005)، سهم قابل توجهی در تولید زعفران در جهان نیز دارد. اکثر زمین‌های زیر کشت این محصول در ایران در استان‌های خراسان جنوبی و رضوی قرار دارد به طوری که استان خراسان رضوی با سطح زیر کشت بیش از 49 هزار

زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاهی نیمه‌گرمسیری است و در نقاطی که دارای زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گرم و خشک باشد به خوبی رشد می‌کند. این گیاه در دمای بین 35 تا 40 درجه سانتی‌گراد و در ارتفاع بین 1300 تا 2300 متر از سطح دریا عملکرد

1، 2 و 3- به ترتیب دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز، استادیار، گروه مهندسی آب و استادیار، گروه خاک‌شناسی و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

(Email: m.ahmadee@ymail.com)

DOI: 10.22067/jag.v8i4.40517

* - نویسنده مسئول:

روش استاندارد توصیه می‌شود (Jensen et al., 1990; Hargreaves, 1994; Allen et al., 1998;). همچنین با توجه به این‌که در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی تجهیزات مورد نیاز جهت اندازه‌گیری پارامترهای معادله فائو-پنمن-مانتیت به عنوان روش استاندارد وجود ندارد لذا می‌بایست از معادلات دیگری استفاده نمود که به پارامترهای هواشناسی کمتری نیاز دارند و برای ارزیابی صحت این معادلات باید نتایج حاصل از آن‌ها را با معادله فائو-پنمن-مانتیت مقایسه کرد (Shih, 1984).

در خصوص ارزیابی روش‌های مختلف تبخیر- تعرق تحقیقات زیادی انجام شده است. آمتیا و همکاران (Amatya et al., 1995) با مطالعه روش‌های مختلف، روش تورک را بهترین روش برآورد برای مناطق مرطوب و ساحلی شرق آمریکا معرفی نمودند. ساعد (Saeed, 1986) به بررسی بهترین معادله تعیین تبخیر- تعرق در عربستان پرداخت. در مطالعه‌ای دیگر، تبخیر- تعرق دو گیاه مرجع چمن (*Poa pratensis* L. و یونجه (*Medicago sativa* L.) با نتایج تشتک تبخیر مقایسه گردید (Maarofi et al., 2008). بیات ورکشی و همکاران (Baiat Varkeshi et al., 2008) میزان تبخیر- تعرق را در شهرهای تبریز، اردبیل و ارومیه در شمال غرب کشور با 14 معادله ارائه شده برای تبخیر- تعرق محاسبه کرده و با نتایج حاصل از روش فائو-پنمن-مانتیت مقایسه نمودند. زندی لک (Zandilak, 2011) از روش‌های پنمن-مانتیت، هارگریوز-سامانی، جنسن-هیز، تورنت-وایت و بلانی-کریدل برای تخمین تبخیر تعرق گیاه مرجع استفاده نمود. نساجی زواره و صادقی فر (Nasaji Zavareh & Sadeghifar, 2007) از معادله‌های ارائه شده برای برآورد میزان تبخیر- تعرق در کرج استفاده نمودند. همچنین پاکدین و همکاران (Pakdin et al., 2012) درحوزه آبخیز آقا چربی فاروج برای تعیین تبخیر- تعرق پتانسیل از روش‌های ارائه شده استفاده نمودند.

اهداف این تحقیق عبارتند از: الف) تعیین مناسب‌ترین معادله تبخیر- تعرق نسبت به مدل فائو-پنمن-مانتیت در دشت بیرجند، ب) مقایسه نیاز آبی زعفران بر اساس معادلات مختلف تعیین تبخیر- تعرق، پ) ارائه یک مدل ساده و دقیق به منظور تعیین سریع نیاز آبی زعفران در دشت بیرجند

مواد و روش‌ها

این تحقیق با هدف بررسی نیاز آبی زعفران در شهرستان بیرجند

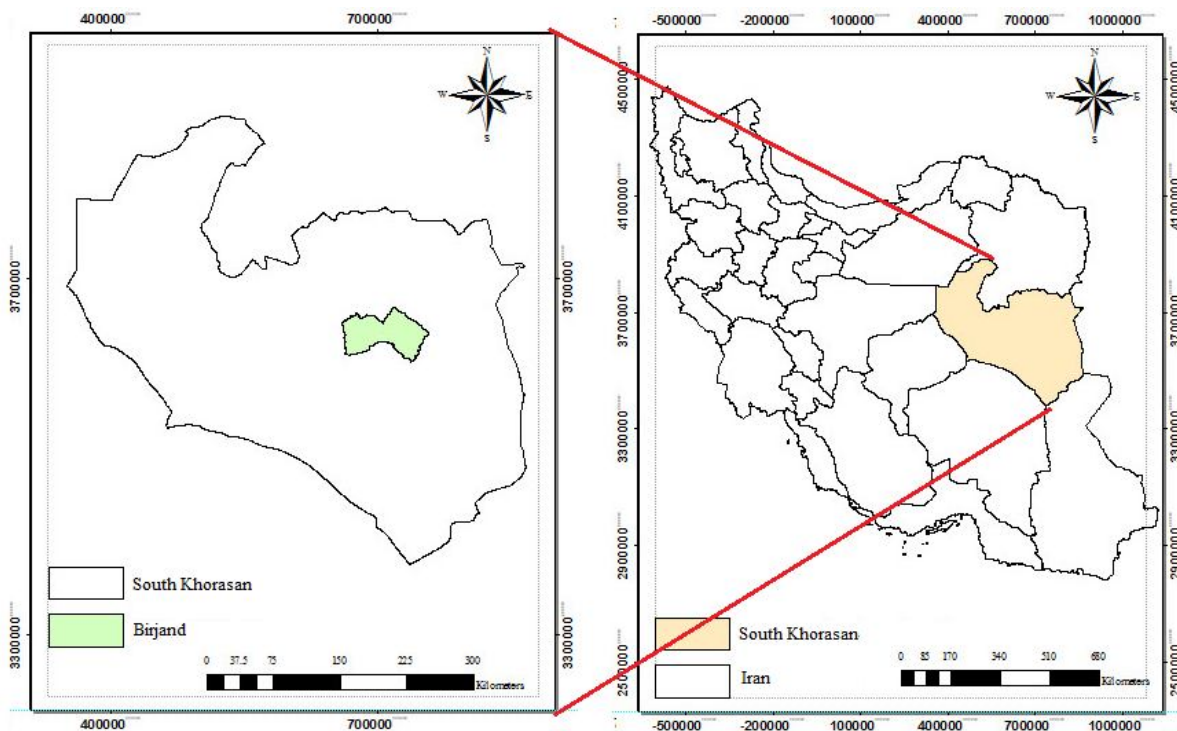
هکتار و تولید سالانه 148 تن و استان خراسان جنوبی با سطح زیر کشت بیش از 11 هزار هکتار و تولید 41 تن در سال (SRSKP, 2010) این محصول را تولید می‌کنند. بعد از ایران کشورهای اسپانیا، یونان، هند، مراکش و آذربایجان از مهم‌ترین کشورهای تولید کننده زعفران به شمار می‌روند (Kafi et al., 2002). از طرفی خصوصیات ویژه زعفران باعث شده است که شیوه کشت آن، که در نوع خود از پیچیدگی بسیاری برخوردار است، بین کشاورزان نسل به نسل منتقل شود. زعفران به عنوان گران‌بهارترین گیاه زراعی موجود روی کره زمین نیز محسوب می‌شود و تنها گیاهی است که واحد خرید و فروش آن به جای تن و کیلوگرم، مثقال است (Rashed et al., 2006).

با توجه به خصوصیات اقلیمی و کمبود آب در شهرستان بیرجند و همچنین کشت عمده این محصول، توجه به نیاز آبی آن اهمیت خاصی پیدا می‌کند. از طرفی نظام‌های سنتی آبیاری و کشاورزی در این منطقه سبب به هدر رفتن منابع آبی می‌گردد. به همین دلیل اهمیت طراحی و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری به منظور استفاده بهتر از آب آبیاری در این منطقه نیاز می‌باشد (Stegman & Bauer, 1977). بررسی میزان تبخیر- تعرق یکی از اساسی‌ترین نیازهای طراحی سیستم‌های آبیاری است و تخمین دقیق آن در ارتقا سطح بهره‌برداری از منابع آب در کشاورزی مؤثر می‌باشد. وجود خطا در ارزیابی تبخیر- تعرق می‌تواند در تعیین نیاز آبی گیاهان و راندمان‌های آبیاری اثر منفی داشته باشد. این موضوع به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود منابع آب مواجه هستند ضرورتی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

با توجه به وابسته بودن تبخیر- تعرق گیاهان به تعیین تبخیر- تعرق گیاه مرجع، در طی نیم قرن گذشته ده‌ها روش برای تعیین تبخیر- تعرق گیاه مرجع ارائه شده است (Burman & Pochop, 1992). دقیق‌ترین روش برآورد مقدار تبخیر- تعرق استفاده از لایسی متر وزنی است. اما به علت هزینه‌بر بودن این روش و در دسترس نبودن آمار مربوط به آن، از روش‌های تجربی برای برآورد تبخیر- تعرق استفاده می‌شود و برای مقایسه این روش‌ها از روش استاندارد استفاده می‌گردد (Allen et al., 1994). مطالعات انجام شده در نقاط مختلف جهان مبین آن است که دقت مقدار تبخیر- تعرق برآورد شده با رابطه فائو-پنمن-مانتیت در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری لایسی‌متری نسبت به سایر روش‌ها بهتر می‌باشد و در شرایطی که داده‌های لایسی‌متری در دسترس نباشد به عنوان یک

تشت تبخیر کلاس A استفاده شد. پارامترهای مورد نیاز این معادلات از ایستگاه هواشناسی (سینوپتیک) شهرستان بیرجند در بازه زمانی 93-1363 تهیه شد و به منظور یکسان سازی نتایج کلیه معادلات، از متوسط ماهیانه داده‌ها استفاده گردید. این معادلات در جدول 1 نشان داده شده‌اند.

در سال 1393 انجام شد. این شهرستان با طول جغرافیایی $59^{\circ}21'$ و عرض جغرافیایی $32^{\circ}87'$ و با ارتفاع 1491 از سطح دریا در شرق ایران قرار دارد (شکل 1). به منظور بررسی بهترین معادله تعیین تبخیر - تعرق از معادلات فائو - پنمن - مانتیث، بلانی - کریدل، هارگریوز، تورک، پریستلی تیلور، تورنت وایت، جنسن - هیز، ماکینگ، جنسن - هیز اصلاح شده، ایرماک (R_n)، ایرماک (R_s)، لاری - جانستون و



شکل 1- موقعیت مکانی شهرستان بیرجند

Fig. 1- Location of Birjand county

چگالی شار حرارتی حرارتی خاک ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{day}$)، N_m ضریب اصلاحی (تابعی از طول جغرافیایی منطقه و ماه مورد نظر)، I شاخص حرارتی سالانه، D متوسط حداکثر ساعات آفتابی ممکن در هر ماه در عرض جغرافیایی، N تعداد روزهای ماه مورد نظر، P ضریب روشنایی یا درصد ساعات روشنایی روزانه، n/N نسبت ساعات آفتابی به مدت روشنایی روز، E پتانسیل تبخیر ماهیانه (mm.day^{-1})، C_T ، K_T و T_x ثابت‌های سالانه، h ارتفاع از سطح دریا (m)، D_m مقدار درجه - روز جمعی برای دماهای بیشینه، γ ثابت سایکرومتری (KPa.C^{-1})، K_p ضریب تشت تبخیر و E_{pan} تبخیر از تشت کلاس A می‌باشند.

که در این معادله‌ها، T متوسط دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)، U_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری (m.s^{-1})، R_n تابش خالص در سطح زمین ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار اشباع هوا (KPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع با دما (KPa.C^{-1})، R_a تابش ماوراء زمینی (mm.day^{-1})، R_s کل تابش خورشیدی ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$)، T_{min} دمای کمینه ($^{\circ}\text{C}$) و T_{max} دمای بیشینه ($^{\circ}\text{C}$)، λ گرمای نهان تبخیر (MJ/Kg) و RH درصد متوسط رطوبت نسبی، RH_{min} درصد رطوبت نسبی حداقل، E_a میانگین فشار بخار واقعی هوا در ارتفاع $1/5$ تا 2 متری (KPa)، α ضریب ثابت پریستلی - تیلور و برابر $1/26$ ، G

جدول 1- معادلات تبخیر - تعرق و پارامترهای مورد استفاده در هر معادله
Table 1- Evapotranspiration equations and their parameters in each equation

نام معادله Equation	معادله Equation	تعداد پارامترها Number of parameters	علامت اختصاری Symbol
فانو - پنمن - مانتیث FAO-Penman-Montieth	$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left[\frac{900}{\frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} + 273} \right] U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$ $ET_o = a + b \{P(0.46T + 8.13)\}$	9	FAO56-PM
بلانی - کریدل Blaney-Criddle	$a = 0.0043RH - \frac{n}{N} - 1.41$ $b = f(RH_{\min}, \frac{n}{N}, U_d)$	7	B-C
هارگریوز Hargreaves	$ET_o = 0.0023R_a \left(\frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} + 17.8 \right) (T_{\min} + T_{\max})^{0.5}$	3	H-S
تورک Turc	$ET_o = 0.013a_r \frac{\frac{T_{\min} + T_{\max}}{2}}{\frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} + 15} \frac{23.8856R_s + 50}{\lambda}$ $RH \geq 50 \rightarrow a_r = 1$ $RH < 50 \rightarrow a_r = 1 + \frac{50 - RH}{70}$	6	T
پریستلی - تیلور Priestley-Taylor	$ET_o = \frac{\alpha}{\lambda} \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G)$	5	P-T
تورنت وایت Thornthwaite	$ET_o = 16N_m \left(\frac{10T}{I} \right)^a \left(\frac{D}{12} \right) \left(\frac{N}{30} \right)$	5	T-W
جنسن - هیز Jensen-Haise	$ET_o = \frac{23.9(0.025T + 0.08)R_s}{59}$	2	J-H
ماکینک Makkink	$ET_o = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_s}{\lambda} - 0.12$	4	M
جنسن - هیز اصلاح شده Modified Jensen-Haise	$ET_o = 0.408R_s C_T \left(\frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} - T_x \right)$ $T_x = -2.5 - 0.14 \left(\exp\left[\frac{19.08T_{\max} + 429.41}{T_{\max} + 237.3} \right] - \exp\left[\frac{19.08T_{\min} + 429.41}{T_{\min} + 237.3} \right] \right) - \frac{h}{500}$	5	M-J-H
ایرماک (Rn) Irmak (Rn)	$ET_o = 0.489 + 0.289R_n + 0.023T$	2	I-Rn
ایرماک (Rs) Irmak (Rs)	$ET_o = -0.611 + 0.149R_s + 0.079T$	2	I-Rs
لاری - جانسون Lowry-Johnson	$ET_o = 0.0856D_m + 0.244$	1	L-J
تشت تبخیر کلاس A Pan	$ET_o = K_p (E_p)$	2	Pan

مشاهدات و اندازه‌گیری‌های صحرائی، اطلاعاتی از جمله مقدار آب آبیاری، زمان و تعداد دفعات آبیاری در مزارع زعفران این دشت تعیین گردید. مقدار آب اختصاص داده شده به مزارع، بر اساس تعیین دبی منابع آبی مورد استفاده مشخص شد. این مقدار با تعیین راندمان انتقال (در مزارعی که فاصله منبع تأمین آب تا مزارع قابل توجه بوده) و باران مؤثر اصلاح شد. سپس آب آبیاری برآورد شده در شرایط واقعی با نیاز آبی تعیین شده توسط روش فائو- پنمن - مانیتیت مقایسه گردید.

سپس از آزمون گاما جهت بررسی مهمترین عامل تأثیرگذار بر تبخیر- تعرق استفاده شد. در این روش، اگر مجموعه‌ای از داده‌ها با مقادیر ورودی x_i ، خروجی y_i و تعداد M سری مشاهده شده از مجموعه (معادله 5) وجود داشته باشد، آنگاه با فرض عدم قطعیت و پذیرش خطا، آن را به صورت معادله 6 نشان می‌دهند؛ که در آن، f تابع همواری برای مدل‌سازی و Γ بیانگر متغیر تصادفی برای نشان دادن خطا می‌باشد. آزمون گاما بر اساس $N[i, k]$ می‌باشد که با فرض نزدیک‌ترین همسایگی P ، مقادیر ورودی و خروجی طبق معادله‌های 7 و 8 تعیین می‌شوند (Remsean et al., 2008; Noori et al., 2009).

$$\{(x_i, y_i), 1 \leq i \leq M\} \quad (5)$$

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m) + r \quad (6)$$

$$\delta_M(k) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |x_{N(i,k)} - x_i|^2 \quad 1 \leq k \leq p \quad (7)$$

$$\gamma_M(k) = \frac{1}{2M} \sum_{i=1}^M |y_{N(i,k)} - y_i|^2 \quad 1 \leq k \leq p \quad (8)$$

با برازش رگرسیون بین P مجموعه $(\delta_M(k), \gamma_M(k))$ مقدار گاما برابر عرض از مبدأ خط رگرسیون به دست آمده (معادله 9) می‌باشد.

$$\gamma = A\delta + \Gamma \quad (9)$$

مقدار گاما نشان‌دهنده بخشی از واریانس داده‌های خروجی است که توسط مدل نمی‌تواند برآورد گردد. شیب خط رگرسیون نیز نشان‌دهنده پیچیدگی مدل است و هر چه مقدار آن بیشتر باشد پیچیدگی مدل نیز بیشتر خواهد بود. $Vratio$ پارامتر دیگری است که به صورت معادله (10) تعریف می‌شود که در این معادله، σ^2 واریانس

برای ارزیابی مدل‌های ارائه شده، مدل فائو- پنمن - مانیتیت به عنوان مدل پایه در نظر گرفته شد و نتایج حاصل از سایر مدل‌ها با استفاده از آماره‌های $RMSE^1$ ، MBE^2 ، EF^3 و R^2 نسبت به این مدل سنجیده شدند. این آماره‌ها به ترتیب در معادله‌های 1 تا 4 نشان داده شده است (Remsean et al., 2008; Trajkovic & Kolakovic, 2009).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (2)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

در معادله‌های فوق، P_i مقدار برآورد شده و O_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر برآورد شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد مقایسه‌ها می‌باشد. مقدار آماره $RMSE$ همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل میزان رطوبت را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد رطوبت عدد کوچکتری به دست داده است. مقدار EF نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

برای تعیین نیاز آبی زعفران از ضریب گیاهی ارائه شده در جدول 2 استفاده شد (Sepaskhah & Kamgar-Haghighi, 2009).

- 1- Root mean square error
- 2- Mean bias error
- 3- Efficiency factor

$$Vratio = \frac{\Gamma}{\sigma^2(y)} \quad (10)$$

نتایج می‌باشد. مقدار این پارامتر عددی بین صفر و یک است که هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد دقت مدل بیشتر است (Remsean et al., 2008; Noori et al., 2009).

جدول 2- ضریب گیاهی زعفران در طی فصل رشد
Table 2- Saffron crop coefficient during the growing season

9 مهر - 9 آبان October	10 آذر - 10 دی December	9 آبان - 11 دی November	11 دی - 12 بهمن January	12 بهمن - 10 اسفند February	10 اسفند - 11 فروردین March	12 فروردین - 10 اردیبهشت April	11 اردیبهشت - 10 خرداد May
0.38	0.78	0.46	0.84	0.68	0.50	0.41	0.37

0/388، 0/433 و 0/632 میلی‌متر بر روز، کمترین میزان خطا را نسبت به سایر روش‌ها نشان دادند. با توجه به این آماره، معادله جنسن - هیز اصلاح شده از سایر روش‌ها مناسب‌تر است، ولی با توجه به تعدد پارامترهای آن، استفاده از این روش برای محاسبات سریع و مزرعه‌ای مناسب نیست. با فرض آماره MBE، روش‌های تورنت وایت، لاری - جانستون، ایرماک (R_s) و تشت تبخیر نیز دقت قابل قبولی نشان دادند. روش بلانی - کریدل بهترین مدل از نظر آماره EF بود؛ ولی برای استفاده از این روش به هفت پارامتر نیاز است. روش‌های تورنت وایت، ماکینگ و جنسن - هیز اصلاح شده نیز از EF بالایی برخوردار بودند، ولی این مدل‌ها یا ضریب تبیین پایینی داشته و یا تعداد پارامتر زیادی نیاز داشتند.

بنابراین با در نظر گرفتن کلیه آماره‌ها، می‌توان روش‌های بلان - کریدل، جنسن - هیز اصلاح شده و هارگریوز را به عنوان مناسب‌ترین روش‌های تخمین نیاز آبی زعفران در دشت بیرجند معرفی کرد. این نتایج با مشاهدات ساعد (Saeed, 1986) مطابقت دارد. این محقق برای مناطق گرم و خشک عربستان روش‌های بلانی - کریدل اصلاح شده، جنسن - هیز و هارگریوز را به عنوان بهترین روش‌های محاسبه معرفی نمود. همچنین صمدی و مجدزاده (Samadi & Majdzadeh, 2003) با اندازه‌گیری تبخیر - تعرق گیاه مرجع (چمن) توسط لایسی متر در کرمان تعدادی از روش‌های محاسباتی را مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که معادله بلانی - کریدل مناسب‌ترین روش برای استفاده در مناطق خشک بود.

معادله‌های پرستلی - تیلور، ایرماک (R_n) و تورنت وایت نیاز آبی زعفران را بیشتر از سایر معادله‌ها نشان دادند (شکل 3). این نتایج با مراجعه به شکل 2 نیز مشخص می‌شود به طوری که پراکندگی نقاط در این روش‌ها پایین‌تر از خط 1:1 می‌باشد. همچنین معادله‌های هارگریوز، ایرماک (R_s)، جنسن - هیز اصلاح شده و تورک، نیاز آبی را

نتایج و بحث

مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر - تعرق نشان داد که به جز روش تورک سایر روش‌ها از همبستگی بالایی نسبت به روش فائو - پنمن - مانیتیت برخوردار هستند (شکل 2 و جدول 3). بر اساس این نتایج می‌توان روش تورک را به دلیل دارا بودن ضریب تبیین 0/512، به عنوان روشی نامناسب برای برآورد تبخیر - تعرق در این منطقه معرفی کرد. کارایی این روش بیشتر در مناطق با آب و هوای مرطوب گزارش شده است (Amatya et al., 1995). مقایسه نتایج بر اساس آماره RMSE نشان داد که روش‌های بلانی - کریدل، جنسن - هیز اصلاح شده و ماکینگ به ترتیب با مقادیر 0/572، 0/721 و 0/945 میلی‌متر بر روز، کمترین میزان خطا را نسبت به روش فائو - پنمن - مانیتیت داشتند. برای استفاده از این روش‌ها به ترتیب به هفت، پنج و سه پارامتر نیاز می‌باشد. همچنین روش‌های پرستلی - تیلور و ایرماک (R_n) به ترتیب با مقادیر 7/741 و 5/451 میلی‌متر بر روز، بیشترین میزان خطا را نسبت به برآورد روش پایه نشان دادند که در این روش‌ها نیز به ترتیب نیاز به تعیین پنج و دو پارامتر هست. کمترین پارامتر مورد نیاز به روش لاری - جانسون اختصاص داشت به طوری که در این معادله تنها نیاز به تعیین درجه - روز تجمعی برای دماهای بیشینه بود. میزان RMSE در این روش گرچه مقدار بالایی نمی‌باشد ولی نسبت به سه روش بلانی کریدل، جنسن - هیز اصلاح شده و هارگریوز به ترتیب 4/889، 3/870 و 2/921 برابر افزایش نشان داد. معادلات ایرماک (R_s)، ایرماک (R_n)، تشت تبخیر و جنسن - هیز برای تعیین تبخیر - تعرق به دو پارامتر نیاز داشتند، ولی میزان RMSE در همه این روش‌ها بیشتر از روش لاری - جانسون بود. با مقایسه آماره MBE، روش‌های جنسن - هیز اصلاح شده، بلانی - کریدل، ماکینگ و هارگریوز به ترتیب با مقادیر 0/248،

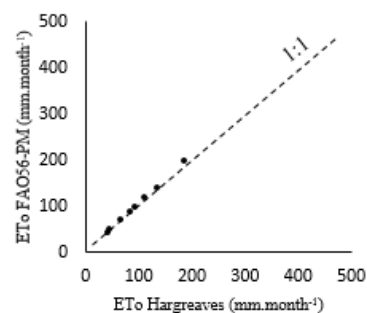
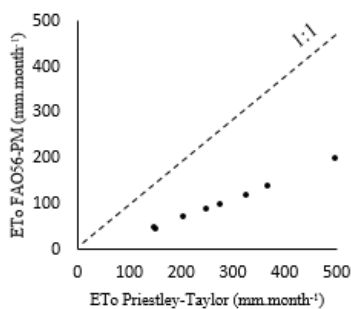
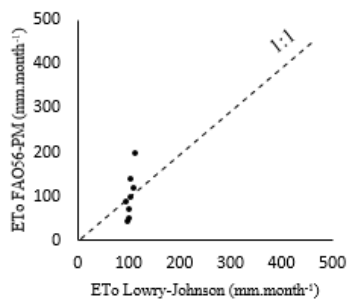
اساس این روش، در دشت بیرجند اصلاً نیازی به آبیاری زعفران نمی‌باشد. البته روش‌های ایرماک (R_s) و جنسن - هیز اصلاح شده نیز نیاز آبی را به ترتیب در بازه 10 دی تا 10 بهمن و 11 دی تا 9 اسفند مقداری منفی نشان دادند.

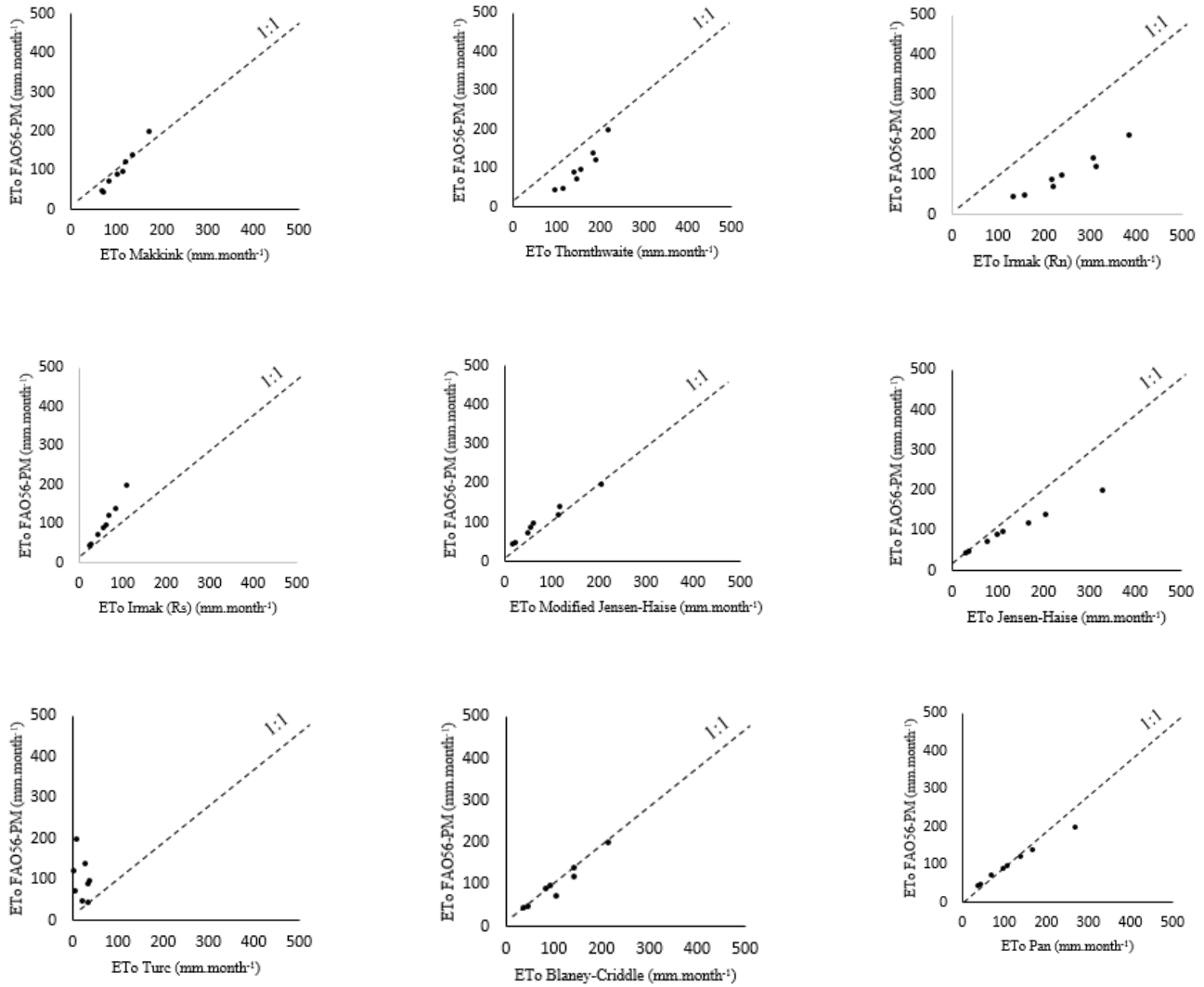
کمتر از روش فائو - پنمن - مانتیث تعیین کردند که با مراجعه به شکل 2، پراکندگی نقاط در این روش‌ها بالای خط 1:1 می‌باشد. روش تورک به منظور تعیین نیاز آبی زعفران نامناسب می‌باشد؛ به طوری که نیاز آبی را، به جز بازه زمانی 10 آذر تا 10 بهمن، عددی منفی نشان داد. علت آن نیز محاسبه باران مؤثر در تعیین نیاز آبی است که بر

جدول 3- مقایسه روش‌های مختلف تعیین تبخیر - تعرق با روش فائو - پنمن - مانتیث در بیرجند

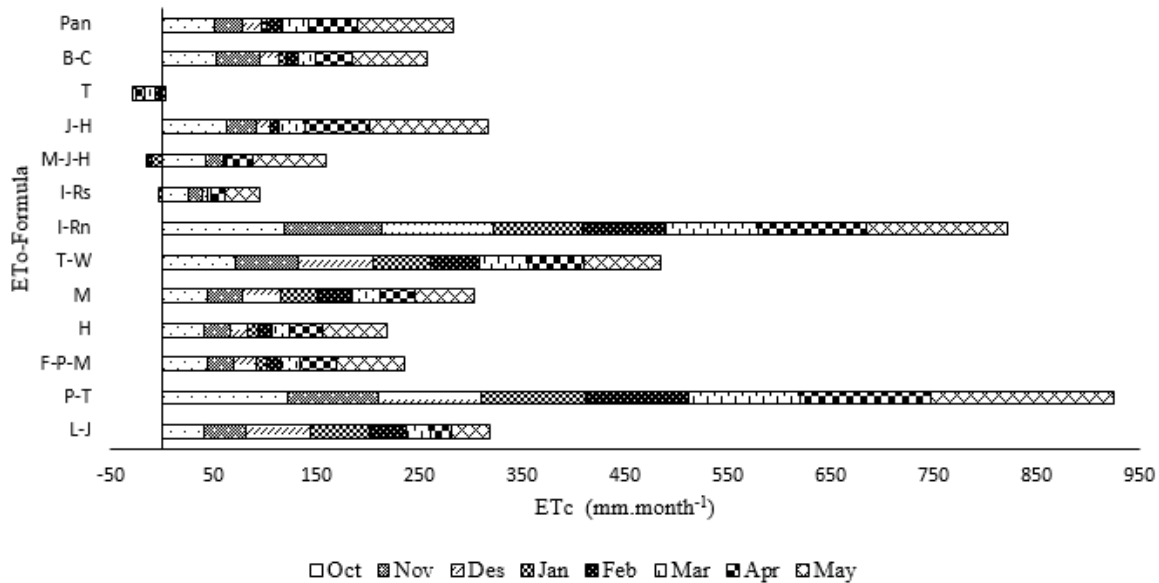
Table 3- Comparisons of different evapotranspiration equation with FAO56-PM evapotranspiration in Birjand

مدل تبخیر - تعرق Evapotranspiration model	کارایی مدل EF	میانگین انحراف خطا (میلی‌متر بر روز) MBE (mm.day ⁻¹)	میانگین مربعات خطا (میلی‌متر بر روز) RMSE (mm.day ⁻¹)	ضریب تبیین R ²
بلانی کریدل Blaney-Criddle	0.957	0.388	0.572	0.980
هارگریوز Hargreaves	0.882	-0.632	0.954	0.975
تورک Turc	-2.761	-4.597	5.408	0.512
پرستلی تیلور Priestley-Taylor	-6.705	7.607	7.741	0.984
تورنت وایت Thornthwaite	0.620	1.263	1.718	0.918
جنسن - هیز Jensen-Haise	-0.282	2.342	3.158	0.994
ماکینک Makkink	0.754	-0.433	1.380	0.966
جنسن - هیز اصلاح شده Modified Jensen-Haise	0.933	-0.248	0.721	0.992
ایرماک (R_n) Irmak (Rn)	-2.821	5.557	5.451	0.942
ایرماک (R_s) Irmak (Rs)	-0.014	-2.403	2.809	0.958
لاری - جانسون Lowry-Johnson	-0.006	-1.266	2.797	0.921
تشت تبخیر کلاس A Pan	-0.788	2.457	3.729	0.970





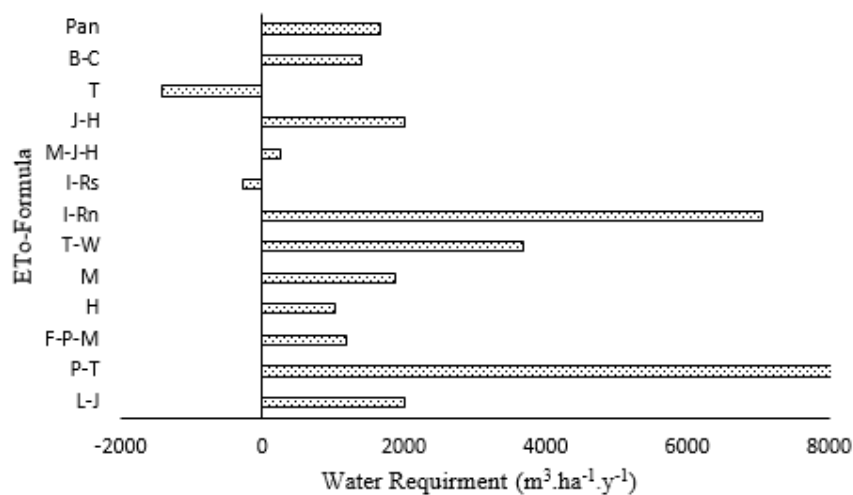
شکل 2- مقایسه روش‌های مختلف تعیین تبخیر - تعرق با روش فائو - پنمن - مانتیث
 Fig. 2- Comparison of different evapotranspiration methods with FAO56-PM evapotranspiration
 (اعداد روی محورهای میانگین تبخیر - تعرق ماهانه به میلی متر می‌باشد.)
 (The numbers on the axes are average monthly evapotranspiration in mm.)



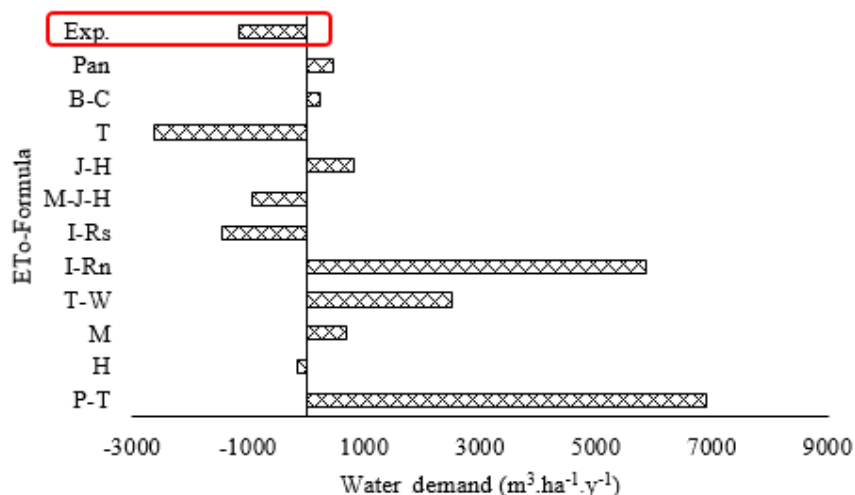
شکل 3- نیاز آبی زعفران در ماه‌های مختلف
 Fig. 3- Saffron ETc in different months

کردند. همچنین نیاز آبی زعفران در طول یک فصل زراعی، با استفاده از روش فائو- پنمن - مانتیث، برابر 2350 مترمکعب در هکتار تعیین شد (شکل 4). مهدوی (Mahdavi, 1999) نیز در تحقیقات خود، نیاز آبی زعفران را برابر 3000 مترمکعب در هکتار گزارش کرد.

همچنین بر اساس روش فائو- پنمن - مانتیث، مجموع تبخیر- تعرق زعفران در دشت بیرجند برابر 235 میلی‌متر در یک فصل زراعی تعیین شد (شکل 3). این نتایج با گزارش علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 1999) همخوانی دارد. این محققان نیز مجموع تبخیر- تعرق زعفران را در فصل رشد برابر 242 میلی‌متر گزارش



شکل 4- مقایسه نیاز آبی زعفران
 Fig. 4- Comparison of water requirements



شکل 5- اختلاف نیاز آبی زعفران بر اساس روش‌های مختلف تعیین تبخیر- تعرق نسبت به معادله فائو- پنمن - مانتیث

Fig. 5- Differences between water requirements and FAO56-PM

(Exp. بیانگر اختلاف آب مصرفی توسط کشاورزان و نیاز آبی زعفران بر اساس روش فائو- پنمن - مانتیث می‌باشد.)

(Exp. Indicates difference between water used by farmers and water requirement determined with the FAO56-PM equation.)

تبخیر- تعرق در دشت بیرجند بود (شکل 5). البته معادله‌های بلانی- کریدل و تشت تبخیر نیز به ترتیب با اختلاف 255/98 و 476/64 مترمکعب در هکتار، برآورد دقیق‌تری نسبت به سایر معادله‌ها نشان دادند. با جمع‌بندی نتایج به دست آمده از جدول 3 و شکل‌های 2 و 5، روش هاگربوز به عنوان یک روش مناسب جهت تعیین تبخیر- تعرق در دشت بیرجند مشاهده شد؛ به طوری که این معادله تنها به دو عامل دما و تشعشع خورشیدی نیاز داشته و تعیین پارامترهای آن نیز در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی انجام می‌گیرد. نتایج تحقیق حاضر با مشاهدات صالح و سندیل (Salih & Sendil, 1984) نیز مطابقت داشت. بر اساس مطالعات این محققان مشخص شد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، دو عامل دما و تشعشع خورشیدی نقش اساسی را بر تبخیر- تعرق ایفا می‌کنند. مطالعات هارگریوز (Hargreave, 1994) نیز بیانگر این بود که استفاده از دو عامل مذکور نتایج قابل قبولی، نسبت به شرایط استفاده از تمام عوامل مؤثر بر تبخیر- تعرق، خواهد داد. همچنین تحقیقات دورنباس و پروت (Doorenbos & Pruitt, 1977) نشان داد که مؤلفه دما از جمله عوامل مؤثر در تعیین تبخیر- تعرق به خصوص در معادله هارگریوز بود.

نتایج مقایسه معادلات تک‌پارامتره و تبخیر- تعرق محاسبه شده با معادله FAO56-PM، این نتایج را تأیید می‌کند (جدول 4). با مقایسه R^2 ، معادله‌های مبتنی بر عامل دما (T)، تابش خالص (R_n) و

در شکل 5، نیاز آبی زعفران بر اساس روش‌های مختلف در طول یک فصل زراعی با معادله فائو- پنمن - مانتیث مقایسه گردیده است. اختلاف آب آبیاری به کار برده شده توسط کشاورزان با معادله فائو- پنمن - مانتیث به صورت Exp. نشان داده شده است. اختلاف نیاز آبی زعفران (بر اساس روش فائو- پنمن - مانتیث) و مقدار آب به کار برده شده توسط کشاورزان برابر 1184/17 مترمکعب در هکتار تعیین شد؛ که تقریباً برابر نیمی از نیاز آبی این محصول است. این نتایج بیانگر این است که کشاورزان این منطقه به دلیل آبیاری سنتی و ناآگاهی از نیاز آبی واقعی زعفران، سبب اعمال تنش آبی به این محصول می‌شوند. گرچه زعفران در شرایط گرم و خشک رشد می‌کند، ولی اعمال تنش آبی به این گیاه سبب کاهش عملکرد آن (Goliaris, 1999; Sepaskhah & Kamgar-Haghighi, 2009; Aitoubahou & El-Otmani, 2009; Khorrandel et al., 2014; Khashei Siuki et al., 2015) به خصوص در شرایط دیم خواهد شد (Pazoki et al., 2013). گرچه آزمایشات عملی در خصوص عملکرد زعفران در این مقاله انجام نشده است؛ ولی می‌توان کم‌آبیاری را دلیلی بر پایین بودن عملکرد زعفران در دشت بیرجند (SYASK, 2010) نسبت به متوسط عملکرد آن در ایران (Kafi, 2006) در نظر گرفت.

معادله هارگریوز با اختلاف 161/23 - مترمکعب در هکتار نسبت به معادله فائو- پنمن - مانتیث، مناسب‌ترین معادله به منظور تعیین

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که در منطقه بیرجند معادله‌های بلانی - کریدل، جنسن - هیز اصلاح شده و هارگریوز دقت بیشتری نسبت به سایر معادله‌ها داشتند. با استفاده از معادله فائو - پنمن - ماتیت، نیاز آبی زعفران در این منطقه 2350 مترمکعب در هکتار برای یک فصل زراعی تعیین شد که نسبت به آب آبیاری مورد استفاده توسط کشاورزان، مقدار بیشتری داشت.

تابش فرازمینی (R_a)، بهترین نتایج را نشان دادند. تحلیل حساسیت پارامترهای مختلف بر میزان تبخیر - تعرق نشان داد که تابش خالص (R_n) عامل مؤثرتری نسبت به دو پارامتر دیگر بود (جدول 5). بر اساس نتایج تحلیل حساسیت، سرعت باد بیشترین مقدار گاما را داشت ولی ضریب تبیین پایینی (0/44) نشان داد. گرچه تبخیر - تعرق به حذف پارامترهایی مانند حداقل رطوبت نسبی (RH_{min}) و کل تشعشع خورشیدی (R_s) حساسیت نشان داد (جدول 5)، ولی به دلیل پایین بودن ضریب تبیین و خطای بالا (جدول 4) مناسب نمی‌باشند.

جدول 4- مقایسه معادله‌های مختلف تعیین تبخیر - تعرق (بر اساس پارامترهای معرفی شده در این جدول) و معادله فائو - پنمن - ماتیت
Table 4- Comparisons of different evapotranspiration equation (determined with single-parameter presented in this table) with FAO56-PM

عامل Parameter	کارایی مدل EF	میانگین انحراف خطا (میلی‌متر بر روز) MBE (mm.day ⁻¹)	جذر میانگین مربعات خطا (میلی‌متر بر روز) RMSE (mm.day ⁻¹)	ضریب تبیین R ²
میانگین درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) Mean temperature (°C)	0.935	-0.014	0.424	0.935
حداکثر درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) T _{max} (°C)	-0.614	2.461	7.040	0.77
حداقل درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) T _{min} (°C)	-0.713	-2.475	0.744	0.65
سرعت باد (متر بر ثانیه) U ₂ (m.s ⁻¹)	-2.626	-3.582	15.814	0.44
میانگین رطوبت (درصد) RH _{mean} (%)	-21.262	6.906	97.0778	0.51
حداقل رطوبت (درصد) RH _{min} (%)	-8.878	5.058	43.079	0.14
فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال) e _s (KPa)	-2.486	-3.501	15.205	0.80
فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال) e _a (KPa)	-3.130	-3.825	18.009	0.57
کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال) e _s - e _a (KPa)	-2.944	-3.742	17.200	0.72
تابش ماورا زمینی (میلی‌متر بر روز) R _a (mm.day ⁻¹)	-5.279	5.117	27.383	0.83
تابش خالص در سطح زمین (مگاژول بر متر بر روز) R _n (MJ.m ⁻² .d ⁻¹)	0.543	-1.179	1.990	0.88
کل تابش خورشیدی (مگاژول بر متر بر روز) R _s (MJ.m ⁻² .d ⁻¹)	0.097	1.727	3.933	0.78

جدول 5- نتایج مقادیر آماره‌های گاما، شیب، خطای استاندارد و V-Ratio با حذف هر پارامتر

Table 5- Results of gamma, gradient, standard error and V-Ratio by deleting each parameter

پارامتر حذف شده Deleted parameter	تابش		فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال) R_a (mm.day ⁻¹)	فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال) e_s (KPa)	میانگین رطوبت (درصد) RH_{mean} (%)	حداقل رطوبت (درصد) RH_{min} (%)	سرعت باد (متر بر ثانیه) U_2 (m.s ⁻¹)	میانگین درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) T (°C)	حداکثر درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) T_{max} (°C)	حداقل درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) T_{min} (°C)	
	کل تابش خورشیدی (مگاژول بر متر بر روز) R_s (MJ.m ⁻² .d ⁻¹)	خالص در سطح زمین (مگاژول بر متر بر روز) R_n (MJ.m ⁻² .d ⁻¹)									
مقدار گاما Gamma	0.00194	0.00116	0.00067	0.00037	0.00063	0.00135	0.00089	0.0128	0.00075	0.00063	0.00103
شیب خطای Gradient error	0.0209	0.0200	0.0210	0.0206	0.0207	0.0210	0.0213	0.0105	0.0200	0.0215	0.0187
استاندارد Standard error	0.00063	0.00041	0.00047	0.00056	0.00043	0.00035	0.00028	0.00092	0.00037	0.00056	0.00074
V-Ratio	0.0077	0.0046	0.0027	0.0015	0.0025	0.0054	0.0035	0.0514	0.0030	0.0025	0.0041

تعرق توسط معادلات تک پارامتره و همچنین تحلیل حساسیت نشان داد که پارامتر میانگین دما اثر بیشتری نسبت به سایر پارامترها بر تبخیر- تعرق داشت. بنابراین به منظور تخمین سریع تبخیر- تعرق، کاربرد معادله تک پارامتره مبتنی بر میانگین دما پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از داوران محترم، که با ارائه نکات ارزشمند موجب ارتقای کیفیت مقاله شدند، قدردانی می‌نمایند.

با مقایسه سایر معادله‌های ارائه شده نسبت به معادله فائو- پنمن- مانتیث، روش‌های هارگریوز، بلانی- کریدل و تشت تبخیر به ترتیب با اختلاف 161/23 - 255/98 و 476/64 متر مکعب در هکتار نسبت به معادله فائو- پنمن- مانتیث، مناسب‌ترین معادله‌ها برای تعیین نیاز آبی زعفران تعیین شدند.

با در نظر گرفتن تعداد عوامل موجود در هر معادله، معادله هارگریوز (با عوامل تشعشع فرازمینی و میانگین دما) نزدیک‌ترین معادله نسبت به معادله فائو- پنمن- مانتیث برای تعیین نیاز آبی زعفران می‌باشد. مقایسه آماره‌های به دست آمده از برازش تبخیر-

منابع

- Ait-Oubahou, A., and El-Otmani, M. 1999. Saffron Cultivation in Morocco. In: Saffron. (Neghbi, M., ed.). Hardwood Academic Publications, Amsterdam 154 pp.
- Alizadeh, A., Mahdavi, M., Iranloo, M., and Bazari, M.E. 1999. Evapo-transpiration and crop coefficient of saffron (*Crocus sativus*). Geographical Research 54 and 55: 29-42. (In Persian with English Summary)
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, NO. 56. Rome. Italy.
- Allen, R.G., Smith, M., Pereira, L.S., and Raes, D. 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. ICID Bulletin 43(2): 35-92.
- Amatya, D.M., Skaggs, R.W., and Gregory, J.D. 1995. Comparison of methods for estimating REF-ET. Irrigation and

- Drainage Engineering 121(6): 427-435.
- Baiat Varkeshi, M., Zare Abyaneh, H., and Ghasemi, A. 2008. Provide the Best Empirical Evapotranspiration Relationship Compared With FAO-Penman-Monteith in the North West. 3rd Iran Water Resources Management Conference. Tabriz, Iran. (In Persian)
- Bari Abarghoei, H., Ghalavand, A., Mazaheri, D., Noor Mohammadi, G., and Sanei, M. 2001. Temperature effect on flowering and yield performance accessions on Iranian saffron. Pajouhesh Va Sazandgi 4: 65-69. (In Persian with English Summary)
- Behnia, M.R. 1989. Saffron: Botany, Cultivation and Production. Tehran University Publications, Tehran, Iran 190 pp. (In Persian)
- Burman, R., and Pochop, L.O. 1994. Evaporation, Evapotranspiration and Climate Data. Elsevier Science B.V.
- Doorenbos, J., and Pruitt, W.O. 1977. Guidelines For Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, NO. 24. Rome. Italy.
- Ehsanzadogh, P., Yadollahi, A.A., and Maibodi, A.N.M. 2004. Productivity, growth and quality attributes of 10 Iranian saffron accessions under climatic conditions of Chahar-Mahal Bakhtrazi, Central Iran. In: Proceeding of the 1st International Symposium on Saffron. Albacete. Spain. p. 183-188.
- Goliaris, A.H. 1999. Saffron cultivation in Greece. In: Saffron. (Neghbi, M., ed.). Hardwood Academic Publications, Amsterdam 154 pp.
- Hargreaves, G.H. 1994. Defining and using reference evapotranspiration. Irrigation and Drainage Engineering ASCE 120(6): 1132-1139.
- Jensen, ME., Burman, R.D., and Allen, R.G. 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices, No. 70. American Society of Civil Engineers, NY.
- Kafi, M. 2006. Saffron Ecophysiology p. 39-57. In: Kafi, M., Koocheki, A., Rashed, M.H., Nassiri, M. (Eds.). Saffron (*Crocus sativus*) Production and Processing. Science Publishers, Enfield.
- Kafi, M., Rashed Mohasel, M.H., Koocheki, A., and Molafilabi, A. 2002. Saffron Production and Processing. Ferdowsi University of Mashhad Publications, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Khashei Siuki, A., Hashemi, S.R., and Ahmadee, M. 2015. The effect of Pottasic Zeolite and irrigation scheduling on saffron yield. Reserch Project in University of Birjand. (In Parsian)
- Khorramdel, S., Gheshm, R., Amin Ghafari, A., and Esmailpour, B. 2014. Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts on agronomical characteristics and yield of saffron. Journal of Saffron Research 1(2): 120-135. (In Parsian)
- Maarofi, S., Zare Abyaneh, H., and Baiat Varkeshi, M. 2008. Assessment of Evapotranspiration Empirical Formulas Between two Reference Crop of Alfalfa and Grass with Pan in Ahvaz. The 2nd National Conference On Irrigation and Drainage Networks Management. Ahvaz, Iran. (In Persian)
- Mahdavi, M. 1999. Plant coefficient and saffron evartanspiration on standard condition. MSc thesis. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Parsian)
- Mobaraki, Z. 2005. Saffron cultivation locating in Qazvin province. MSc thesis. Tehran University, Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
- Mollafilabi, A. 2004. Experimental findings of production and echophysiological aspects of saffron (*Crocus sativus* L.). Acta Horticulturae (ISHS) 650: 195-200.
- Nasaji Zavareh, M., and Sadeghifar, R. 2007. Estimation of reference crop evapotranspiration using different methods (Case study: Karaj). 9th Conference on Irrigation and Evaporation Reduction. Kerman, Iran. (In Persian)
- Noori, R., Karbassi, A., and Sabahi, M.S. 2009. Evaluation of PCA and gamma test techniques on AAN opration for weekly solid waste prediction. Journal of Enviromental Management 91: 767-771.
- Pakdin, M., Shahnnavaz, Y., Roostaei, S., and Alipoor, H. 2012. Study of potential and actual evapotranspiration in Faruj basin. The 1st National Conference on Solutions to Access Sustainable Development in Agriculture, Natural Resources and the Environment (sdconf). Tehran, Iran. (In Persian)
- Pazoki, A., Kariminejad, M., and Foladi Targhi, A. 2013. Effect of planting patterns on yield and some agronomical traits in saffron (*Crocus sativus* L.) Under different irrigation intervals in Shahr-e-Rey Region. International Journal of Farming and Allied Sciences 2(S2): 1363-1368.
- Rashed, M.H., Kafi, M., Koocheki, A., and Nassiri, M. 2006. Saffron (*Crocus sativus*) Production and Processing. Science Publications 87-96.

- Remesan, R., Shamim, M.A., and Han, D. 2008. Model data selection using gamma test for daily solar radiation estimation. *Hydrological Processes* 22: 4301-4309.
- Rezvani-Moghaddam, P., Huda, A.K.S., Parvez, Q., and Koocheki, A. 2007. Indigenous Knowledge in Agriculture with Particular Reference to Medicinal Crop Production in Khorasan, Iran. *Managing Knowledge, Technology and Development in the Era of Information Revolution*. Edited by A. Ahmed p. 105-115.
- Saeed, M. 1986. The estimation of evapotranspiration by some equations under hot and arid conditions. *Transaction American Society of Agricultural and Biological Engineers* 29(2): 434-438.
- Salih, A.M.A., and Sendil, U. 1984. Evapotranspiration under extremely arid climates. *Irrigation and Drainage Engineering, ASCE* 110(3): 289-303.
- Samadi, H., and Majdzadeh, B. 2003. Comparison of reference evapotranspiration calculated by empirical formulas with lysimeters in Kerman. 8th Conference on Irrigation and Evaporation Reduction. Kerman, Iran. (In Persian)
- Sepaskhah, A.R., and Kamgar-Haghighi, A.A. 2009. Saffron irrigation regime. *International Journal of Plant Production* 3(1): 1-16.
- Shih, S.F. 1984. Data requirement for evapotranspiration estimation. *Irrigation and Drainage Engineering, ASCE* 110(3): 263-274.
- Statistical Yearbook of Agriculture in Khorasan Razavi Province (SYAKRP). 2010. Available at Web site: [Http://www.koj.ir/news/default.asp?nk=63&maincatid=1184](http://www.koj.ir/news/default.asp?nk=63&maincatid=1184). (In Persian)
- Statistical Yearbook of Agriculture in South Khorasan (SYASK), 2010. Available at <http://kj-agrijahad.ir/dbagri/html1/birjand88-89.htm> (In Persian)
- Stegman, E.C., and Bauer, A. 1977. Sugar beet response to water stress in sandy soils. *Transaction of the American Society of Agriculture Engineering* 20: 469-472.
- Trajkovic, S., and Kolakovic, S. 2009. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. *Water Resource Management* 23(14): 3057-3067.
- Zandilak, H. 2011. Select the Appropriate Method for Estimating Evapotranspiration in Yazd. 1st Regional Water Resources Development Conference. Abarkoh. (In Persian)



Comparison of Efficiency of Different Equations to Estimate the Water Requirement in Saffron (*Crocus sativus* L.) (Case Study: Birjand Plain, Iran)

M. Ahmadee^{1*}, A. Khashei Siuki² and M.H. Sayyari³

Submitted: 22-10-2014

Accepted: 29-07-2015

Ahmadee, M., Khashei Siuki, A., and Sayyari, M.H. 2017. Comparison of efficiency of different equations to estimate the water requirement in saffron (*Crocus sativus* L.) (Case study: Birjand plain, Iran). Journal of Agroecology 8(4): 505-520.

Introduction

Saffron (*Crocus sativus* L.) is a subtropical plant mostly cultivated in South Khorasan and Khorasan Razavi provinces, Iran. Total saffron production is about 200 ton all over the world, and since it is native to Iran, the country has an important role to produce saffron. In recent years, drought showed a significant effect on water resources in Birjand, South Khorasan. Due to lack of full equipped meteorological stations and sufficient lysimetry studies, over irrigation and deficit irrigation are mostly common among saffron farmers. The cause of saffron yield decline is mostly related to irrigation. In addition, farmers need the simple equation/formula to determine the water demand, so, it is necessary to present a single and simple equation. Regarding to this purpose, this study was conducted to achieve mentioned goals: 1) determination of the best evapotranspiration equation, 2) comparison of saffron water need based on 12 most relevant evapotranspiration equations, and 3) determination a single-parameter model to rapidly and accurately estimate saffron water need based on gamma test (due to lack of all FAO-Penman-Monteith parameters in all Birjand's meteorological stations).

Materials and methods

This study was conducted using meteorological data collected from Birjand's synoptic station during 1984-2014. This station is located at longitude 59° 21' E and latitude 32° 87' N and elevation 1491m. Twelve evapotranspiration equations (Blaney-Criddle, Hargreaves, Turc, Priestley-Taylor, Thornthwaite, Jensen-Haise, Makkink, Modified Jensen-Haise, Irmak (R_n), Irmak (R_s), Lowry-Johnson, Pan-Class A) were evaluate to determine the best accurate one. To compare the 12 evapotranspiration equations results with FAO-Penman-Monteith equation (FAO56-PM), four statistical criteria (R_2 , MBE, RMSE and EF) were used. In order to comprise saffron water demand to actual water used, amount of irrigation water for saffron cultivation in Birjand plain was measured during 2014. In addition, saffron yield was recorded during this growing season in this region. In order to propose a single parameter and accurate model based on easily accessible meteorological parameters, gamma test was also employed.

Results and discussion

Results of coefficient of determination (R^2) were acceptable (>0.9) for all equations except Turk. The results showed that Blaney-Criddle, Modified Jensen-Haise and Hargreaves had better accuracy compared to other equations so that their root mean square errors (RMSE) were 0.572, 0.721 and 0.945 mm.d⁻¹, respectively. In addition, saffron water requirement determined with FAO56-PM was equal to 2350 m³.ha⁻¹.y⁻¹. Hargreaves equation, with differences about -161.23 m³.ha⁻¹.y⁻¹ compared with FAO56-PM, was determined as a good equation. Measured irrigation water by saffron farmers was about 1184.17 m³.ha⁻¹.y⁻¹. According to the results it found that deficit irrigation was applied by saffron farmers. Saffron grow in arid regions, however, drought stress have a negative effect on its plant development and yield (Khorramdel et al., 2014; Khashei Siuki et al., 2015). Despite the lack of doing no test about the effect of deficit irrigation on saffron yield during 2014 in this region, it seems that deficit irrigation may be a reason of low saffron yield (SYASK, 2010) compared to average

1, 2 and 3- PhD Student of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz, Assistant Professor of Water Engineer and Assistant Professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Birjand, Iran, respectively.

(*- Corresponding author Email: m.ahmadee@ymail.com)

DOI: 10.22067/jag.v8i4.40517

saffron yield in this region.

Results of gamma test revealed that temperature is a key parameter to develop a single model. In addition, results showed that the single parameter model based on temperature had better accuracy compared to above-twelve mentioned equation.

Conclusion

Hargreaves equation was only used the temperature (T) and extraterrestrial radiation (Ra) for estimating evapotranspiration. In addition, single parameter equation based on the mean temperature was only used one parameter (T) to estimate the evapotranspiration. Since both of the equations had an acceptable accuracy to use in this region, it is recommended to use them to determine saffron irrigation demand. It is due to lack of meteorological equipment for estimating all parameters in the plain.

Acknowledgement

The authors would like to thank the anonymous reviewers whose valuable comments have helped us to clarify some parts of this paper.

Keywords: FAO56-PM equation, Single-Parameter equation, Water stress

References

- Khorramdel, S., Gheshm, R., Amin Ghafari, A., and Esmailpour, B. 2014. Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts on agronomical characteristics and yield of saffron. *Journal of Saffron Research* 1(2): 120-135. (In Parsian)
- Khashei Siuki, A., Hashemi, S.R., and Ahmadee, M. 2015. The effect of Pottasic Zeolite and irrigation scheduling on saffron yield. Reserch Project in University of Birjand. (In Parsian)
- Statistical Yearbook of Agriculture in South Khorasan (SYASK), 2010. Available at <http://kj-agrijahad.ir/dbagri/html1/birjand88-89.htm>. (In Persian)