

مقاله علمی-پژوهشی

## ارزیابی اثر برخی از روش‌های دمایی و تشعشعی بر آورد تبخیر-تعرق مرجع ( $ET_0$ )

### بر تبخیر-تعرق واقعی و زیست‌توده ذرت

هادی رضائی اعتدالی<sup>۱</sup>، فاطمه صفری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۸

#### چکیده

کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است که ریزش‌های کم جوی، رگبارهای شدید، وقوع جریان‌های سیلابی و تبخیر-تعرق زیاد از ویژگی‌های آن به شمار می‌آید. بنابراین، ارزیابی کمی تبخیر-تعرق در سطح منطقه‌ای، به منظور مدیریت منابع آب، تولید محصول و ارزیابی‌های زیست-محیطی در مناطق فاریاب، ضروری است. در سال‌های اخیر مدل‌های گیاهی متعددی برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد محصولات گیاهان در شرایط مختلف زراعی و آبیاری ارائه شده است. مدل آکواکراپ یک مدل فراگیر است که توسط فائو برای محدوده وسیعی از محصولات زراعی ارائه شده است. در این پژوهش تاثیر روش‌های مختلف بر آورد تبخیر-تعرق مرجع ( $ET_0$ ) بر تبخیر-تعرق واقعی ( $ET$ ) و زیست‌توده در پنج ایستگاه با استفاده از مدل آکواکراپ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور میزان تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از دو روش دمایی و سه روش تشعشعی بر آورد و نتایج با روش مرجع FAO-56 ارزیابی آماری شد. براساس ارزیابی انجام شده، روش دمایی بلانی-کریدل برای هر دو پارامتر  $ET$  و زیست‌توده در هر پنج ایستگاه با مقدار  $R^2$  بیشتر از ۰/۵ (strong)، NRMSE متوسط تا عالی و NS نزدیک به یک، روش‌های تشعشعی تورک و مک کینک با  $R^2$  بیشتر از ۰/۵، NRMSE عالی و NS برابر با ۰/۹۹ برای زیست‌توده در هر پنج ایستگاه روش برتر بودند. از بین روش‌های تشعشعی برای  $ET$  روش پریستلی-تیلور با  $R^2$  متوسط و قوی، NRMSE خوب و متوسط و NS برابر با ۰/۹۶ در ایستگاه‌های قزوین و مشهد و روش تورک با  $R^2$  بیشتر از ۰/۵، NRMSE عالی و NS برابر با ۰/۹۸ برای ارومیه نسبت به سایر روش‌های بر آورد، شبیه‌سازی بهینه و بهتری داشت. از بین روش‌های تشعشعی مورد بررسی، روش مناسبی در ارزیابی  $ET$  برای ایستگاه‌های رشت و یزد یافت نشد.

واژه‌های کلیدی: ایران، شبیه‌سازی، عملکرد، AquaCrop،  $ET$

#### مقدمه

گرفتن ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک و نیز تلاش برای بالا بردن بهره‌وری مصرف آب، لزوم شناخت تبخیر-تعرق و اجزای آن را بیش از پیش با اهمیت می‌کند (دهقانی سانینجو همکاران، ۱۳۹۹). روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری و تعیین دقیق تبخیر-تعرق و اجزای آن وجود دارد که شامل لایسیمترهای وزنی، روش بیلان انرژی، نسبت بوون، بوون (BREB)، جریان‌سنج‌های شیره گیاهی (SF)، پالس حرارتی خاک (SHP) و میکرو لایسیمترها است. به دلیل اینکه آزمایش‌های مزرعه‌ای نیازمند صرف وقت، هزینه و انرژی بوده و همچنین به دلیل محدودیت این آزمایش‌ها به شرایط فیزیکی مزرعه، کوتاه بودن مدت آزمایش و نیز محدودیت در تعداد سناریوهای که توسط آزمایش بررسی می‌شوند، استفاده از مدل‌ها و نرم‌افزارها در روابط آب و خاک توسعه یافته است (دهقانی سانینجو و همکاران، ۱۳۹۹). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های CROPWAT (Smith, 1992)، DSSAT (Jones et al., 2003) و WOFOST

کشاورزی عمده‌ترین بخش مصرف‌کننده در کشورهای خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و به عنوان نخستین منبع بهره‌برداری برای رقابت آب به شمار می‌رود (Ayars et al., 2015). از آنجاییکه در حال حاضر محیط‌های با محدودیت آب تقریباً نیمی از سطح زمین را تشکیل می‌دهند، انتظار می‌رود موضوع ارزیابی دقیق  $ET$  و اجزای آن همچنان حادث‌تر شود (Newman et al., 2006). با توجه به قرار

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
۲- دانشجوی دکترای گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
(\*)-نویسنده مسئول: (Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)  
DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.1.1.5

AquaCrop تعیین و نتایج را با مدل Cropwat و Netwat مقایسه کردند. براساس نتایج، تبخیر-تعرق و نیاز آبی حاصل از مدل AquaCrop در مقایسه با Cropwat کمتر و نتایج در مقایسه با Netwat برای گندم و ذرت دانه‌ای مقادیر بیشتر و برای جو کمتر برآورد شده است. همچنین مدل AquaCrop برای محصول آفتاب-گردان در استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد این مدل با دقت بالایی عملکرد محصول را شبیه‌سازی می‌کند (Haydarinia et al., 2012). مدل فوق برای ذرت علوفه‌ای در منطقه قزوین توسط رحیمی خوب و همکاران (۱۳۹۳) مورد واسنجی قرار گرفت. بر اساس نتایج آن‌ها متوسط خطای مدل حدود ۱۰ درصد تعیین شد.

مسانی و همکاران در تحقیقات خود که به منظور شبیه‌سازی تبخیر-تعرق و رطوبت خاک بر روی گیاه سورگوم دانه‌ای انجام دادند، گزارش کردند که مدل در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق سورگوم دانه‌ای بیش‌برآورد دارد (Masasi et al., 2019). به همین دلایل، AquaCrop می‌تواند در شرایط مختلف، ابزاری مناسب برای پیش-بینی بهره‌وری محصول باشد. همانطور که تحقیقات نشان می‌دهد مدل AquaCrop تحت سناریوهای مختلف، قابلیت بالایی را در شبیه‌سازی رشد و عملکرد محصول و نیز بهره‌وری آب از خود نشان داده است. استریسویچ و همکاران اثر کم آبیاری و افزودن کود نیتروژن بر عملکرد ذرت و بهره‌وری آب طی سالهای ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در دهلی را با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل مذکور از دقت خوبی در برآورد مقدار زیست‌توده و وزن دانه ذرت برخوردار است (میانگین ریشه مربعات خطا در این تحقیق ۰/۲۹ تا ۰/۴۲ تن بر هکتار و ضریب تبیین ۰/۹ تا ۰/۹۱). همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که دقت مدل با افزایش سطح تنش کاهش می‌یابد به طوری که کمترین دقت در تیمار بدون افزودن کود و تیمار حداکثر کم آبیاری حاصل شد. میزان خطای مدل AquaCrop در شبیه‌سازی بهره‌وری آب ۲/۳۵ تا ۲۷/۵ درصد بود (Stricevic et al., 2014).

تا کنون در زمینه شبیه‌سازی تبخیر-تعرق و زیست توده و اثرات عوامل مختلف بر روی این پارامترها در گیاهان مختلف با استفاده از مدل AquaCrop تحقیقات زیادی انجام شده ولی درباره اثر روش-های مختلف برآورد تبخیر-تعرق مرجع، که بعنوان یکی از ورودی-های مدل است، در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق و زیست توده، پژوهشی انجام نشده است. لذا هدف از این تحقیق شبیه‌سازی و ارزیابی اثر روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق مرجع بر تبخیر-تعرق واقعی و زیست‌توده ذرت در چهار اقلیم مختلف ایران با استفاده از مدل AquaCrop است.

(Van Diepen et al., 1989) و CropSyst (Stöckle et al., 2003) اشاره نمود، که برای شبیه‌سازی رشد محصول تحت شرایط مختلف برای بهینه‌سازی آبیاری می‌تواند مفید باشد. با این حال، بسیاری از این مدل‌ها برای کالیبراسیون و شبیه‌سازی، به تعداد زیادی پارامتر ورودی و مهارت مدل‌سازی پیشرفته نیاز است (Heng et al., 2009). در میان مدل‌های مختلف شبیه‌سازی، مدل AquaCrop مدل جدیدی بود که توسط سازمان فائو توسعه داده شد. اساس کار این مدل بررسی واکنش عملکرد محصول نسبت به آب مصرفی بود که با استفاده از متغیرهای اقلیمی، گیاه، خاک و شیوه‌های مدیریتی، عملکرد محصول را شبیه‌سازی می‌نماید. مدل مذکور بایستی برای هر محصول و در هر منطقه خاص واسنجی و ارزیابی گردد (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۴). مزیت مدل AquaCrop نسبت به سایر مدل‌های گیاهی این است که پارامترهای ثابت آن زیادتر بوده و واسنجی مدل با داده‌های کمتری انجام پذیر است. مدل برای اجرا نیاز به ورود داده-های هواشناسی، گیاه، خاک، مدیریت مزرعه و آبیاری دارد (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۴). مدل AquaCrop با استفاده از داده‌های تبخیر-تعرق گیاه مرجع و همچنین میزان توسعه تاج گیاه در طول مراحل مختلف رشد، میزان تبخیر-تعرق گیاه مورد مطالعه را به تفکیک محاسبه می‌کند (ضیایی و همکاران، ۱۳۹۳).

در نقاط مختلف ایران و جهان عملکرد خوب مدل AquaCrop در پیش‌بینی رشد، عملکرد، نیاز خالص آبیاری، زیست توده و نیاز تبخیر-تعرق گیاه به اثبات رسیده است که این پیش‌بینی‌ها می‌تواند برای بهینه‌سازی استراتژی‌های آبیاری نیز مورد استفاده قرار گیرد. از جمله تحقیقات صورت گرفته در نتیجه کاربرد مدل AquaCrop می‌توان به مطالعه فراهانی و همکاران اشاره کرد که با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای سه فصل رشد محصول در شمال سوریه تحت سه سطح آبیاری کامل، کم آبیاری و قطره‌ای پیش‌بینی دقیقی از تبخیر-تعرق را با استفاده از مدل AquaCrop به اثبات رساندند (Farahani et al., 2009). مبان و همکاران در تحقیقی که با هدف نشان دادن کارایی مدل AquaCrop بر روی گیاه ذرت در منطقه Pennsylvania انجام دادند گزارش کردند که مدل AquaCrop در برآورد تبخیر-تعرق ذرت بیش برآورد دارد و بیش برآوردی ET توسط مدل AquaCrop به اشتباهات در تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک از جمله FC و WP نسبت داده شد (Mebane et al., 2013). همچنین در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق ذرت با مدل AquaCrop در شرایط متفاوت بافت و حاصلخیزی خاک گزارش شد که مدل از کارایی متوسطی در این زمینه برخوردار بود. کارایی مدل در شبیه‌سازی تبخیر-تعرق ذرت در خاک لوم بهتر از دو بافت لوم رسی سیلتی و لوم شنی بود و با اعمال تنش حاصلخیزی، کارایی مدل کاهش یافت (قربانیان کردآبادی و همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهشی عبدالله‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) میزان تبخیر-تعرق و نیاز خالص آبیاری محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای را در دشت مغان با استفاده از مدل

## مواد و روش‌ها

### ایستگاه‌های مورد مطالعه

با استفاده از اقلیم‌نمای کوپن، پنج ایستگاه هواشناسی ارومیه در شمال غرب با اقلیم نیمه‌مرطوب، رشت در شمال با اقلیم مرطوب، مشهد در شمال شرق و قزوین در شمال با اقلیم نیمه‌خشک و یزد در مرکز ایران با اقلیم خشک انتخاب شدند (شکل ۱). خصوصیات ایستگاه‌های هواشناسی در جدول (۱) ارائه شده‌اند.

### روش پژوهش

در پژوهش حاضر به منظور برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع از شش روش شامل FAO-56، هارگریوز-سامانی (H.S) و بلانی-کریدل (B.C)، پریستلی-تیلور (P.T)، تورک (T) و مک‌کینک (Mak) استفاده شد. فرم معادلات مطابق جدول (۲) است:

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ایستگاه	اقلیم	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (m)
ارومیه	نیمه مرطوب	۳۷° ۴۰'	۴۵° ۳'	۱۳۲۸
رشت	مرطوب	۳۷° ۱۹'	۴۹° ۳۷'	-۸/۶
مشهد	نیمه خشک	۳۶° ۱۶'	۵۹° ۳۸'	۹۹۹/۲
قزوین	نیمه خشک	۳۶° ۱۶'	۵۰° ۰'	۱۲۷۹/۱
یزد	خشک	۳۱° ۵۴'	۵۴° ۱۷'	۱۲۳۷/۲



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و محدوده‌های مورد مطالعه

جدول ۲- معادلات مورد استفاده در پژوهش

شماره	نام معادله	معادله
۱	FAO-56	$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left( \frac{890}{T + 273} \right) U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$
۲	Hargreaves-Samani	$ET_o = 0.0023R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}} (T_{mean} + 17.8)$
۳	Blaney-Criddle	$ET_o = a + b(P(0.46T_{mean} + 8.13))$
۴	Priestley-Taylor	$ET_o = 1.26 \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \left( \frac{R_n - G}{\lambda} \right)$
۵	Makkink	$ET = 0.61 \left( \frac{\Delta}{\Delta - \gamma} \right) \left( \frac{R_s}{2.45} \right) - 0.12$
۶	Turc	$ET = 0.013 \frac{(23.89R_s + 50)T_{avg}}{(T_{avg} + 15)}$

متغیرهای هواشناسی شامل حداکثر و حداقل دمای هوا، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی هوا، ساعات آفتابی و سرعت باد در ارتفاع داد

داده‌های تبخیر-تعرق مرجع بعنوان ورودی‌های مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی موردنیاز است. به همین دلیل،

تبخیر-تعرق، نیاز خالص آبیاری، عملکرد و زیست‌توده گیاه در این پژوهش به صورت روزانه است.

$$\left(1 - \frac{Y}{Y_x}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_x}\right) \quad (3)$$

که در آن  $Y_x$ : حداکثر عملکرد،  $Y$ : عملکرد واقعی،  $ET_x$ : حداکثر تبخیر-تعرق،  $ET$ : تبخیر-تعرق واقعی و  $K_y$  فاکتور تناسب بین افت نسبی عملکرد و کاهش نسبی تبخیر-تعرق است (سعیدی و همکاران، ۱۴۰۰).

### شاخص‌های آماری

در این تحقیق نتایج حاصل از برآوردها با داده ایستگاه‌ها مذکور برای ذرت توسط معیارهای آماری خطا شامل آماره‌های ضریب تبیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ( $NRMSE$ ) و شاخص نش-ساتکلیف (N.S)، مقایسه شدند.

ضریب تبیین یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی ارتباط میان دو متغیر  $x$  و  $y$  است که به صورت بی بعد نمایش داده می‌شود. این ضریب ارتباط مستقیمی با ضریب همبستگی دارد. به این ترتیب که با جذر گرفتن از ضریب تبیین می‌توان ضریب همبستگی میان دو سری مورد بررسی را به دست آورد. همانند ضریب همبستگی هر چه مقدار ضریب تبیین به یک نزدیک‌تر باشد، ارتباط قوی‌تری میان دو متغیر وجود دارد. در صورت ضرب ضریب تبیین در عدد ۱۰۰ مقدار به دست آمده بیان‌گر درصد واریانس تغییرات متغیر  $x$  است که با متغیر  $y$  توصیف می‌شود. طبقه بندی ضریب پیرسون در جدول (۳) آورده شده است (Junior et al., 2017). برای محاسبه ضریب تبیین از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

شاخص  $NRMSE$  سطح تخمین را نشان می‌دهد. تقسیم‌بندی  $NRMSE$  توسط جمیسون و همکاران در جدول (۴) آورده شده است (Jamieson et al., 1991).

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (4)$$

ضریب نش-ساتکلیف یکی از رایج‌ترین شاخص‌هایی است که برای ارزیابی کارایی مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود (Nash and Sutcliffe, 1970). این شاخص حالتی استاندارد از تابع حداقل مربعات خطاهاست:

$$NS = 1 - \frac{\sum_1^N (ET(Sim) - ET(Obs))^2}{\sum_1^N (ET(Obs) - \overline{ET(Obs)})^2} \quad (5)$$

دامنه تغییرات این شاخص از  $-\infty$  تا  $+1$  بوده و مقدار بهینه این شاخص یک است. براساس پژوهش‌های مختلف صورت گرفته در این زمینه از جمله مطالعات گاسمن و همکاران اگر مقدار ضریب نش-ساتکلیف بالاتر از  $0/5$  باشد مدل شبیه‌سازی خوبی داشته است (Gassman et al., 2007).

متری سطح زمین از ایستگاه‌های ارومیه، رشت، قزوین، مشهد و یزد از تاریخ ۱۳۵۸/۱۰/۱۱ تا ۱۳۹۹/۱۰/۱۱ دریافت و تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از روش‌های مذکور در جدول بالا محاسبه شد.

به دلیل ناکافی بودن داده‌های لایسیمتری، از روش فائو-پنمن-مانتیت (FAO-56) با توجه به اینکه دارای دقت بالا در برآورد تبخیر-تعرق مرجع است، بعنوان داده مشاهده‌ای برای صحت‌سنجی استفاده شد. پژوهش‌های انجام گرفته در نقاط مختلف جهان، بیان‌کننده این نکته است که دقت مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با معادله FAO-56 در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده لایسیمتری از دیگر معادله‌های تخمین بهتر است (Allen et al., 1998).

جدول ۳- تقسیم‌بندی نتایج شبیه‌سازی ضریب پیرسون

$R^2$	$< 0/1$	$0/1$ تا $0/2$	$0/2$ تا $0/5$	$> 0/5$
نتایج شبیه‌سازی همبستگی ندارد	ضعیف	متوسط	قوی	

جدول ۴- تقسیم‌بندی نتایج شبیه‌سازی بر اساس  $NRMSE$

$NRMSE$	$0-10$	$10-20$	$20-30$	$> 30$
نتیجه تخمین	عالی	خوب	متوسط	ضعیف

### توصیف مدل AquaCrop

روند کلی کار با مدل‌ها بدین صورت است که خروجی‌های بدست آمده با مقادیر اندازه‌گیری شده کمترین اختلاف ممکن را داشته باشد. این مدل با تفکیک تبخیر-تعرق به تعرق از سطح گیاه ( $T_r$ ) و تبخیر از سطح خاک ( $E$ ) و همچنین توسعه یک مدل ساده رشد و پیری تاج سبز گیاه به عنوان پایه برآورد تعرق از سطح گیاه و تاثیر دیگر پارامترهای مدیریت به عملکرد بیولوژیک گیاه می‌رسد. با تفکیک تبخیر-تعرق می‌توان از مصرف غیرتولیدی آب از طریق تبخیر از سطح خاک به ویژه در شرایط پوشش گیاه ناکامل جلوگیری کرد. در مدل AquaCrop تبخیر صورت گرفته از سطح خاک از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$E_{stage} = (1 - CC^*) K_{e_x} ET_0 \quad (1)$$

در رابطه بالا  $E_{stage}$ : تبخیر در مراحل مختلف رشد گیاه (mm)،  $CC^*$ : پوشش گیاهی (درصد)،  $K_{e_x}$ : ضریب تبخیر از سطح خاک (بدون بعد)،  $ET_0$ : تبخیر-تعرق مرجع (mm) (دهقانی سانجی و همکاران، ۱۳۹۹). تعرق گیاهی ( $T_r$ ) نیز از رابطه (۲) بدست می‌آید (Moran et al., 2009):

$$T_r = ET_{c-act} - E_{stage} \quad (2)$$

روش اصلی برای شبیه‌سازی عملکرد محصول در مدل AquaCrop استفاده از رابطه دورنیاس-کسام (رابطه ۳) بود. در این مدل شبیه‌سازی تعرق گیاه با رابطه (۲) که معادله اصلی برای محاسبه تعرق گیاه بود انجام شد. دوره محاسباتی برای برآورد پارامترهای

## نتایج و بحث

نتایج ارزیابی آماری ET و زیست‌توده نیز برای هر ۵ ایستگاه هواشناسی در سال‌های ۱۳۵۸-۱۳۹۹ برای گیاه ذرت در جداول (۵) و (۶) ارائه شده است.

## ارزیابی روش‌های دمایی بر آورد تبخیر و تعرق مرجع

طبق نتایج مربوط به ارزیابی ET که در جدول (۵) آورده شده است؛ در ایستگاه ارومیه برای روش هارگریوز-سامانی (H.S) مقدار ضریب تبیین ( $R^2$ ) برابر ۰/۷۶ بوده که همبستگی خوبی را بین داده‌ها نشان می‌دهد. اما مقدار NRMSE خیلی بالا بوده و براساس جدول (۴) در طبقه ضعیف قرار می‌گیرد. مقدار آماره NS نیز در این روش بیشتر از ۰/۵ است که نشان از کارایی مناسب مدل می‌باشد. در مورد روش بلانی-کریدل (B.C) در این ایستگاه، مقدار  $R^2$  برابر ۰/۹۵، NRMSE متوسط و NS برابر ۰/۹۶ بود که بیانگر همبستگی خوب بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل است. در ایستگاه رشت مقدار  $R^2$  برابر ۰/۱۶، NRMSE ضعیف و NS بیشتر از ۰/۵ بود، که با توجه به مقدار  $R^2$  داده‌های روش H.S با یکدیگر همبستگی ندارند. در روش B.C مقدار  $R^2$  برابر ۰/۶۷، NRMSE خوب و NS نزدیک به یک است که نشانگر همبستگی خوب بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل است. در ایستگاه مشهد، مقدار  $R^2$ ، NRMSE و NS در روش H.S به ترتیب برابر ۰/۱۵، ضعیف و ۰/۷۷ بوده که برخلاف عملکرد مناسب مدل اما بین داده‌ها در این روش همبستگی خیلی ضعیفی وجود دارد. در روش B.C مقدار  $R^2$  برابر ۰/۷۳، NRMSE خوب و NS نزدیک به یک است که کارایی مناسب مدل به همراه همبستگی خوب بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل را نشان می‌دهد. برای ایستگاه یزد، مقدار  $R^2$ ، NRMSE و NS در روش H.S به ترتیب برابر ۰/۰۲، ضعیف و ۰/۸۰ بوده که با توجه به مقدار ضریب تبیین همبستگی ای بین داده‌ها وجود ندارد. برای روش B.C مقدار  $R^2$  برابر ۰/۶۷، NRMSE متوسط و NS نزدیک به یک است که نشانگر همبستگی خوب بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل در این روش است. نتایج در مورد ایستگاه قزوین برای روش H.S به این صورت است که مقدار  $R^2$  برابر ۰/۰۴، NRMSE ضعیف و NS برابر ۰/۸۸ است که با توجه به مقدار  $R^2$  هیچگونه همبستگی‌ای بین داده‌ها وجود ندارد. مقادیر آماره‌ها برای روش B.C،  $R^2$  برابر ۰/۸۴، NRMSE خوب و NS برابر ۰/۹۸ است که همبستگی خوب بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل را نشان می‌دهد.

براساس نتایج ارزیابی زیست‌توده که در جدول (۵) ارائه شده است؛ در ایستگاه ارومیه برای روش H.S مقدار  $R^2$  برابر ۰/۹۲ بوده که همبستگی خوبی را بین داده‌ها نشان می‌دهد، مقدار NRMSE برابر ۱۲/۰۳ بوده و براساس جدول (۴) در طبقه خوب قرار می‌گیرد.

مقدار آماره NS نیز در این روش برابر ۰/۹۸ است که نشان از کارایی مناسب مدل می‌باشد. در مورد روش B.C در این ایستگاه، مقدار  $R^2$  برابر ۰/۹۹، NRMSE عالی و NS برابر ۰/۹۹ بود که بیانگر همبستگی خوب بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل است. در ایستگاه رشت مقدار  $R^2$  برابر ۰/۸۷، NRMSE عالی و NS برابر ۰/۹۹ بود، که با توجه به مقدار  $R^2$  داده‌های روش H.S با یکدیگر همبستگی دارند و کارایی مدل مناسب است. در روش B.C مقدار  $R^2$  برابر ۰/۹۹، NRMSE عالی و NS نزدیک به یک است که نشانگر همبستگی خوب بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل است. در ایستگاه مشهد، مقدار  $R^2$ ، NRMSE و NS در روش H.S به ترتیب برابر ۰/۷۲، خوب و ۰/۹۷ بوده که علاوه بر عملکرد مناسب مدل، بین داده‌ها نیز در این روش همبستگی وجود دارد. در روش B.C مقدار  $R^2$  برابر ۰/۹۷، NRMSE عالی و NS برابر ۰/۹۹ بود که کارایی مناسب مدل به همراه همبستگی خوب بین داده‌ها را نشان می‌دهد. برای ایستگاه یزد، مقدار  $R^2$ ، NRMSE و NS در روش H.S به ترتیب برابر ۰/۷۴، متوسط و ۰/۹۳ بوده که با توجه به مقدار ضریب تبیین بین داده‌ها همبستگی وجود دارد و کارایی مدل هم مناسب است. برای روش B.C مقدار  $R^2$  برابر ۰/۹۶، NRMSE عالی و NS نزدیک به یک است که نشانگر همبستگی خوب بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل در این روش است. نتایج در مورد ایستگاه قزوین برای روش H.S به این صورت است که مقدار  $R^2$  برابر ۰/۶۵، NRMSE خوب و NS برابر ۰/۹۷ است که بین داده‌ها همبستگی وجود دارد و کارایی مدل مناسب است. مقادیر آماره‌ها برای روش B.C،  $R^2$  برابر ۰/۸۹، NRMSE عالی و NS برابر ۰/۹۹ است که همبستگی خوب بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل را نشان می‌دهد.

همانطور که بررسی شد ضریب تبیین  $R^2$  در ذرت برای ارزیابی روش بلانی-کریدل نزدیک به مقدار یک بوده که نشانگر همبستگی خوبی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی ET و زیست‌توده است. مقدار آماره NRMSE نیز برای همه پارامترها در محدوده ۰-۲۰ درصد و شاخص نش-ساتکلیف بیشتر از ۰/۵ است که نشان از کارایی مناسب مدل می‌باشد (جدول ۵). در مورد روش هارگریوز-سامانی در ذرت، مقادیر آماره‌ها خوب نبوده و این بیانگر آنست که استفاده از این روش مناسب این اقلیم‌ها نمی‌باشد (جدول ۵). در پژوهشی، صفری و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی تبخیر-تعرق مرجع با معادلات بلانی-کریدل و هارگریوز-سامانی در مقایسه با روش استاندارد FAO-56 برای اقلیم‌های مختلف ایران پرداختند، براساس نتایج آن‌ها روش بلانی-کریدل در اقلیم‌های خشک، نیمه خشک، مرطوب و نیمه مرطوب بهترین برآورد را داشت. نتایج این مطالعه بیان کرد در شرایطی که در اقلیم‌های مورد مطالعه به دلیل عدم دسترسی به داده‌های مورد نیاز، برآورد تبخیر-تعرق مرجع از روش FAO-56 ممکن نباشد، با بهره‌گیری از معادلات واسنجی شده در آن پژوهش می‌توان

بر اساس نتایج روش بلانی-کریدل نسبت به سایر روش‌ها با بیشترین ضریب همبستگی و کمترین میزان خطای استاندارد با روش FAO-56 از دقت بیشتری برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل برخوردار بود (عصاره و داودی، ۱۳۹۳).

به برآوردهای مشابه از نظر آماری با روش FAO-56 دست یافت. نتایج این پژوهش با پژوهش حاضر همخوانی دارد. در پژوهشی دیگر، سه روش (بلانی-کریدل، تورنت وایت و هارگریوز-سامانی) برای برآورد ET پتانسیل در شهرستان امیدیه مورد مقایسه قرار گرفتند که

جدول ۵- ارزیابی آماری معادلات دمایی در گیاه ذرت

معادله رگرسیونی	R <sup>2</sup>	NS	NRMSE (%)	اقلیم	ایستگاه	معادله
(mm) ET						
y = 0.7644 x - 457.35	۰/۷۶۴	۰/۶۸۸	۱۲۳/۵۱۹	نیمه مرطوب	ارومیه	
y = 0.2914 x + 101.23	۰/۱۶	۰/۶۰۴	۱۶۲/۶۴	مرطوب	رشت	
y = -0.3161 x + 1265.2	۰/۱۴۸	۰/۷۷	۸۷/۵۶	نیمه خشک	مشهد	H.S
y = -0.1323 x + 954.79	۰/۰۱۷	۰/۸۰۱	۷۷/۷۴	خشک	یزد	
y = 0.0957 x + 918.93	۰/۰۰۴۱	۰/۸۷۹	۵۱/۲۹	نیمه خشک	قزوین	
y = 0.9124 x - 74.671	۰/۹۴۷	۰/۹۶۵	۲۲/۵۰۲	نیمه مرطوب	ارومیه	
y = 0.5331 x + 173.24	۰/۶۷۳	۰/۹۸۴	۱۳/۸	مرطوب	رشت	
y = 1.0437 x - 187.43	۰/۷۳۴	۰/۹۷۳	۱۹/۰۵	نیمه خشک	مشهد	B.C
y = 1.1406 x - 317.25	۰/۶۷۳	۰/۹۶۱	۲۳/۹۷	خشک	یزد	
y = 0.5515 x + 538.86	۰/۸۴۱	۰/۹۷۸	۱۳/۳	نیمه خشک	قزوین	
زیست توده (ton/ha)						
y = 1.2161 x - 1.9088	۰/۹۱۵	۰/۹۸۱	۱۲/۰۲۳	نیمه مرطوب	ارومیه	
y = 0.751 x + 8.2401	۰/۸۷۴	۰/۹۹	۸/۹۴	مرطوب	رشت	
y = 0.779 x + 8.8785	۰/۷۲	۰/۹۶۹	۱۴/۶۶۶	نیمه خشک	مشهد	H.S
y = 0.8296 x + 7.7472	۰/۷۴۱	۰/۹۲۸	۲۰/۹۷	خشک	یزد	
y = 0.9102 x + 5.6645	۰/۶۵۲	۰/۹۷۵	۱۳/۳۳۶	نیمه خشک	قزوین	
y = 1.0151 x - 0.0844	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۱/۱۹۸	نیمه مرطوب	ارومیه	
y = 0.9678 x + 0.9144	۰/۹۹۳	۰/۹۹۹	۰/۳۸۱	مرطوب	رشت	
y = 0.9021 x + 2.9759	۰/۹۶۶	۰/۹۹۹	۱/۶۶۱	نیمه خشک	مشهد	B.C
y = 0.9102 x + 2.6386	۰/۹۶۴	۰/۹۹۸	۳/۰۷۸	خشک	یزد	
y = 1.0134 x - 0.707	۰/۸۹۳	۰/۹۹۹	۱/۵۳۲	نیمه خشک	قزوین	

۰/۸۸ بود، که با توجه به مقدار R<sup>2</sup> داده‌های روش P.T با یکدیگر همبستگی ندارند. در روش T مقدار R<sup>2</sup> برابر با ۰/۳۴، NRMSE عالی و NS نزدیک به یک است که نشان می‌دهد برخلاف کارایی مناسب مدل اما همبستگی خوبی بین داده‌ها وجود ندارد. درباره روش MAK مقدار R<sup>2</sup>، NRMSE و NS به ترتیب برابر با ۰/۳۲، خوب و ۰/۹۷ است که براساس آنها داده‌ها با یکدیگر همبستگی ندارند. در ایستگاه مشهد، مقدار R<sup>2</sup>، NRMSE و NS در روش P.T به ترتیب برابر با ۰/۲۷، خوب و ۰/۹۶ بوده که برخلاف عملکرد مناسب مدل، بین داده‌ها در این روش همبستگی وجود ندارد. در روش T مقدار R<sup>2</sup> برابر ۰/۰۰۲، NRMSE متوسط و NS برابر ۰/۹۱ بود که هیچگونه همبستگی‌ای بین داده‌ها وجود ندارد. در روش MAK مقدار R<sup>2</sup> برابر ۰/۰۱، NRMSE ضعیف و NS برابر ۰/۷۹ بود که در این روش همبستگی بین داده‌ها وجود ندارد. برای ایستگاه یزد، مقدار R<sup>2</sup>،

#### ارزیابی روش‌های تشعشعی برآورد تبخیر و تعرق مرجع

براساس نتایج ارزیابی ET که در جدول (۶) ارائه شده است؛ در ایستگاه ارومیه برای روش پرستلی-تیلور (P.T) مقدار R<sup>2</sup> برابر ۰/۷۴ بوده که همبستگی خوبی را بین داده‌ها نشان می‌دهد، مقدار NRMSE برابر ۲۳/۳۵ بوده و براساس جدول (۴) در طبقه متوسط قرار می‌گیرد. مقدار آماره NS نیز در این روش برابر ۰/۹۶ است که نشان از کارایی مناسب مدل می‌باشد. در مورد روش تورک (T) در این ایستگاه، مقدار R<sup>2</sup> برابر ۰/۸۱، NRMSE متوسط و NS برابر ۰/۹۸ بود که بیانگر همبستگی خوب بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل است. مقادیر آماره‌ها در روش مک کینک (MAK) بصورت مقدار R<sup>2</sup> برابر ۰/۸۰، NRMSE خوب و NS برابر ۰/۹۶ بود که وجود همبستگی بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل را نشان می‌دهد. در ایستگاه رشت مقدار R<sup>2</sup> برابر ۰/۲۲، NRMSE ضعیف و NS برابر

P.T به ترتیب برابر با ۰/۹۳، عالی و ۰/۹۹ بوده که با توجه به مقدار ضریب تبیین بین داده‌ها همبستگی وجود دارد. برای روش T مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۹۵، NRMSE عالی و NS برابر ۰/۹۹ است که همبستگی خوبی بین داده‌ها در این روش وجود دارد و کارایی مدل مناسب است. در روش MAK مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۹۵، NRMSE عالی و NS برابر ۰/۹۹ است که علاوه بر وجود همبستگی بین داده‌ها، کارایی مدل هم مناسب است. نتایج در مورد ایستگاه قزوین برای روش P.T به این صورت است که مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۴۹، NRMSE عالی و NS برابر با ۰/۹۹ است که بین داده‌ها همبستگی وجود دارد و کارایی مدل مناسب است. مقادیر آماره‌ها برای روش T،  $R^2$  برابر با ۰/۶۳، NRMSE عالی و NS برابر ۰/۹۹ است که همبستگی خوب بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل را نشان می‌دهد. درباره روش MAK مقدار  $R^2$ ، NRMSE و NS به ترتیب برابر با ۰/۵۹، عالی و ۰/۹۹ است که براساس آن‌ها داده‌ها با یکدیگر همبستگی دارند و کارایی مدل هم مناسب است. در بررسی روش‌های تشعشعی، ضریب تبیین حاصل از ارزیابی برای ET ذرت، در روش پرستلی-تیلور در ایستگاه یزد، در روش‌های تورک و مک‌کینک در ایستگاه‌های مشهد و یزد نشان می‌دهد همبستگی داده‌ای ندارند در حالیکه در سایر ایستگاه‌ها اینطور نیست. مقادیر NRMSE و شاخص نش-ساتکلیف نیز در روش پرستلی-تیلور بهتر از دو روش دیگر است. برای شبیه-سازی زیست‌توده با توجه به مقدار ضریب تبیین، NRMSE و شاخص نش-ساتکلیف که به ترتیب نزدیک به یک، در محدوده ۱۰-۰ و نزدیک به مقدار بهینه یک هستند می‌توان از دو روش تورک و مک‌کینک استفاده و به نتایج مطلوب دست پیدا کرد (جدول ۶).

طبق پژوهشی که در ایران به منظور مطالعه و ارزیابی روش‌های تشعشعی بر آورد تبخیر-تعرق انجام شد، به ترتیب روش‌های مک-کینک، تورک و پرستلی-تیلور برای ایستگاه‌های ارومیه و مشهد، رشت و یزد با کمترین میزان خطای استاندارد و بیشترین میزان همبستگی با روش FAO-56 نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده از دقت بیشتری در بر آورد تبخیر-تعرق مرجع برخوردار بودند (صفری و همکاران، ۱۳۹۸). در پژوهشی دیگر، محققان با استفاده از هفت روش، مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل را در چهار منطقه اقلیمی متفاوت (خشک، نیمه‌خشک، مرطوب و نیمه‌مرطوب) هند تعیین کرده و نتایج حاصل را با روش FAO-56 مقایسه کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که در میان روش‌های مورد مطالعه، روش هارگریوز در دوره‌های زمانی روزانه و ماهانه نتایج نزدیک به روش FAO-56 ارائه می‌کند و در همه اقلیم‌ها به استثنای اقلیم مرطوب روش تورک (روش تشعشعی) مناسب‌تر است. نتایج حاصل از تحلیل عاملی نشان می‌دهد که سرعت باد مهم‌ترین عامل در مناطق خشک و ساعات آفتابی مهم‌ترین عامل در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب است (Nandagiri et al. 2005). در این پژوهش نیز برای اقلیم مرطوب (ایستگاه رشت) روش تورک

NRMSE و NS در روش P.T به ترتیب برابر با ۰/۰۳، متوسط و ۰/۸۶ بوده که با توجه به مقدار ضریب تبیین بین داده‌ها همبستگی وجود ندارد. برای روش T مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۰۹، NRMSE متوسط و NS برابر ۰/۸۵ است که هیچگونه همبستگی‌ای بین داده‌ها در این روش نیست. در روش MAK مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۰۹، NRMSE ضعیف و NS برابر ۰/۶۸ است که در این روش نیز بین داده‌ها همبستگی وجود ندارد. نتایج در مورد ایستگاه قزوین برای روش P.T به این صورت است که مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۶۸، NRMSE متوسط و NS برابر با ۰/۹۵ است که بین داده‌ها همبستگی وجود دارد و کارایی مدل مناسب است. مقادیر آماره‌ها برای روش T،  $R^2$  برابر با ۰/۶۸، NRMSE ضعیف و NS برابر ۰/۰۶ است که همبستگی خوب بین داده‌ها را نشان می‌دهد ولی کارایی مدل مناسب نیست. درباره روش MAK مقدار  $R^2$ ، NRMSE و NS به ترتیب برابر با ۰/۶۸، ضعیف و ۰/۳۸- است که براساس آن‌ها داده‌ها با یکدیگر همبستگی دارند اما کارایی مدل خیلی ضعیف است.

براساس نتایج ارزیابی زیست‌توده که در جدول (۶) آورده شده است؛ در ایستگاه ارومیه برای روش P.T مقدار  $R^2$  برابر ۰/۹۹ بوده که همبستگی خوبی را بین داده‌ها نشان می‌دهد، مقدار NRMSE برابر ۱/۳۸ بوده و طبق جدول (۴) در طبقه عالی قرار می‌گیرد. مقدار آماره NS نیز در این روش برابر ۰/۹۹ است که نشان از کارایی مناسب مدل می‌باشد. در مورد روش T در این ایستگاه، مقدار  $R^2$  برابر ۰/۹۹، NRMSE برابر ۰/۴۹ (عالی) و NS برابر ۰/۹۹ بود که بیانگر همبستگی خوب بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل است. مقادیر آماره-ها در روش MAK بصورت مقدار  $R^2$  برابر ۰/۹۹، NRMSE برابر ۰/۸۱ (عالی) و NS برابر ۰/۹۹ بود که وجود همبستگی بین داده‌ها و کارایی مناسب مدل را نشان می‌دهد. در ایستگاه رشت مقدار  $R^2$  برابر ۰/۹۸، NRMSE برابر ۱/۵۳ (عالی) و NS برابر ۰/۹۹ بود، که با توجه به مقدار  $R^2$  داده‌های روش P.T با یکدیگر همبستگی دارند و کارایی مدل مناسب است. در روش T مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۹۹، NRMSE عالی و NS نزدیک به یک است که نشان می‌دهد علاوه بر کارایی مناسب مدل، همبستگی خوبی بین داده‌ها وجود دارد. درباره روش MAK مقدار  $R^2$ ، NRMSE و NS به ترتیب برابر با ۰/۹۹، عالی و ۰/۹۹ است که براساس آن‌ها داده‌ها با یکدیگر همبستگی دارند. در ایستگاه مشهد، مقدار  $R^2$ ، NRMSE و NS در روش P.T به ترتیب برابر با ۰/۸۳، عالی و ۰/۹۹ بوده که علاوه بر عملکرد مناسب مدل، بین داده‌ها در این روش همبستگی وجود دارد. در روش T مقدار  $R^2$  برابر ۰/۸۹، NRMSE عالی و NS برابر ۰/۹۹ بود که کارایی مناسب مدل به همراه وجود همبستگی بین داده‌ها است. در روش MAK مقدار  $R^2$  برابر ۰/۸۹، NRMSE عالی و NS برابر ۰/۹۹ بود که در این روش هم همبستگی بین داده‌ها وجود دارد و هم کارایی مدل مناسب است. برای ایستگاه یزد، مقدار  $R^2$ ، NRMSE و NS در روش

بعنوان اولویت انتخاب شد.

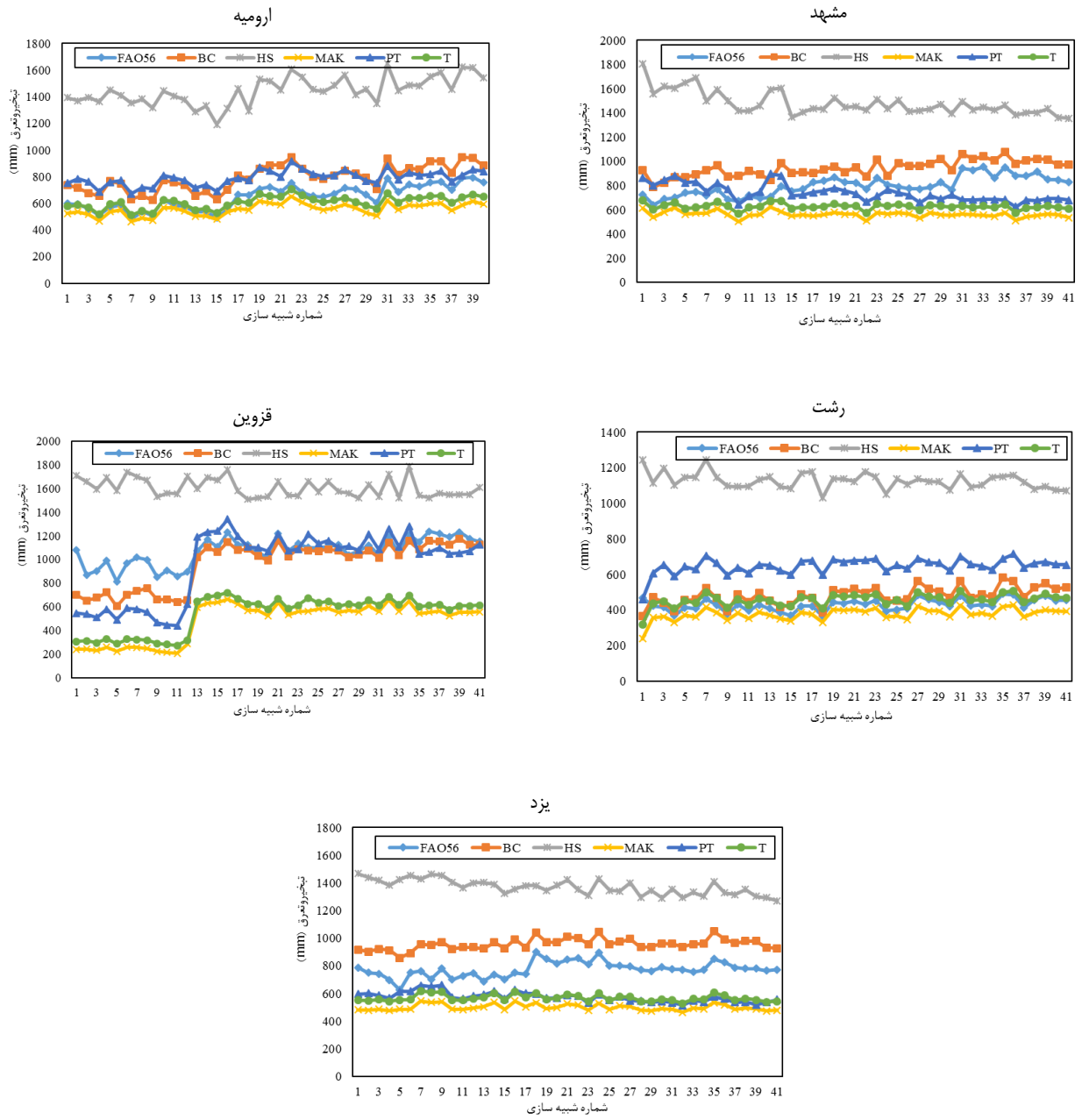
های موردنظر نشان می‌دهد. همانطور که نمودارهای روند نشان می‌دهند، مقادیر شبیه‌سازی شده تبخیر-تعرق و زیست‌توده در تمامی روش‌ها بجز هارگریوز-سامانی به روش پایه FAO-56 گرایش داشته و از روند برآوردهای این روش پیروی می‌کنند.

شکل‌های (۲) و (۳) روند برآورد تبخیر-تعرق و زیست توده گیاه ذرت را براساس روش‌های مختلف برآورد ET شامل بلانی-کریدل (B.C)، هارگریوز-سامانی (H.S)، پریستلی-تیلور (P.T)، مک‌کینک (MAK) و تورک (T) در مقابل روش پایه FAO-56 برای ایستگاه-

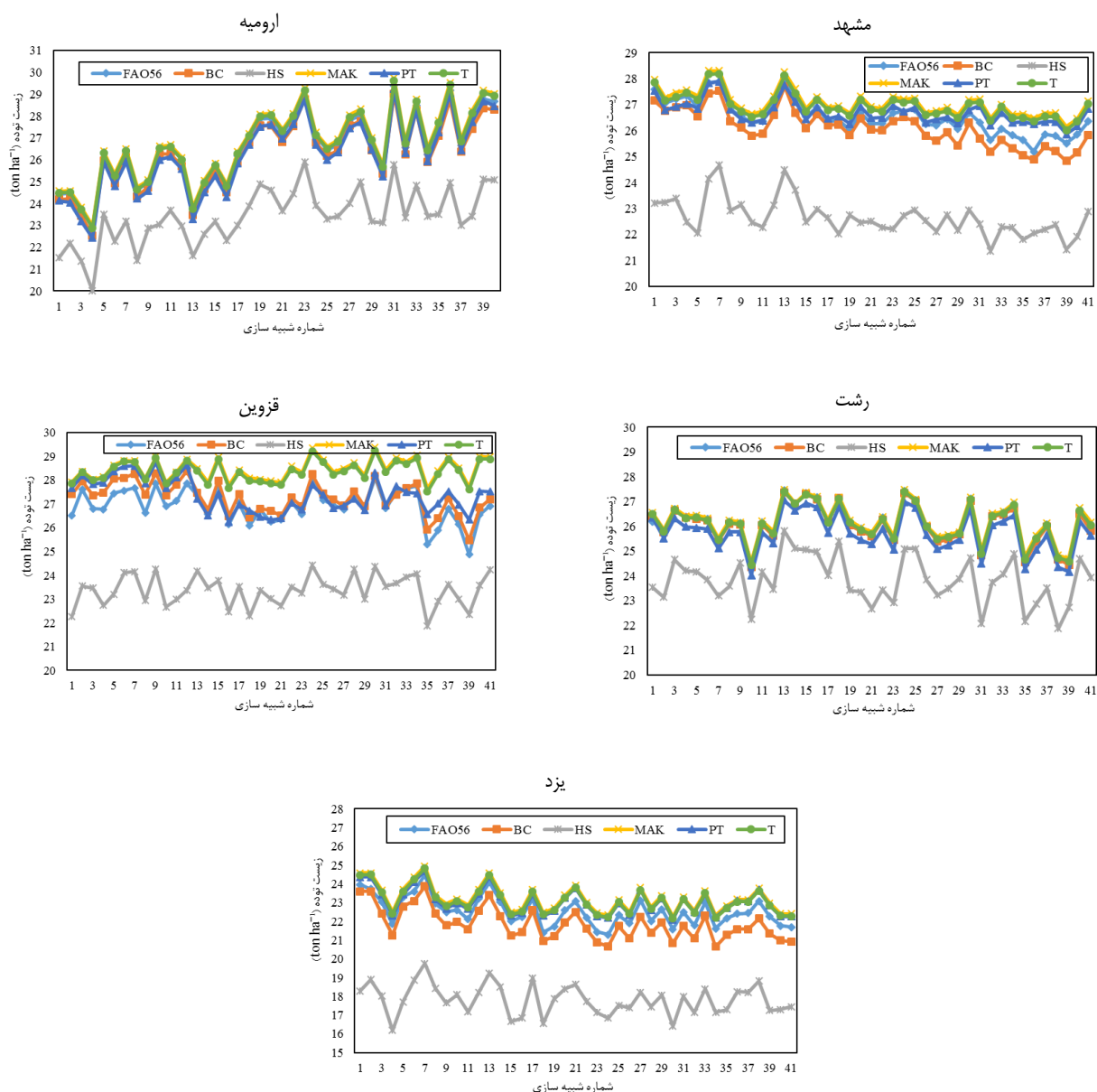
جدول ۶- ارزیابی آماری معادلات تشعشعی در گیاه ذرت

معادله	ایستگاه	اقلیم	NRMSE (%)	NS	R <sup>2</sup>	معادله رگرسیونی
<b>(mm) ET</b>						
y= 1.4214 x-475.06	ارومیه	نیمه مرطوب	۲۳/۳۴۵	۰/۹۶۲	-۰/۷۴۳	
y= 0.3575 x+198.44	رشت	مرطوب	۵۱/۳۴	۰/۸۸۲	-۰/۲۲۵	
y= -0.612 x+1249.8	مشهد	نیمه خشک	۱۷/۸۱	۰/۹۶۲	-۰/۲۷۵	P.T
y= -0.2448 x+914.21	یزد	خشک	۲۷/۳۲	۰/۸۶۱	-۰/۰۲۶	
y= 0.3294 x+755.53	قزوین	نیمه خشک	۲۱/۵۴	۰/۹۴۶	-۰/۶۸۱	
y= 1.7175 x-397.56	ارومیه	نیمه مرطوب	۹/۹۹۲	۰/۹۸۸	-۰/۸۰۶	
y= 0.5545 x+176.79	رشت	مرطوب	۹/۳۷	۰/۹۹۲	-۰/۳۴۲	
y= 0.0443 x+769.6	مشهد	نیمه خشک	۲۳/۷۴	۰/۹۰۶	-۰/۰۰۰۲	T
y= 0.6849 x+385.16	یزد	خشک	۲۷/۵۲	۰/۸۵۵	-۰/۰۹۱	
y= 0.6195 x+739.11	قزوین	نیمه خشک	۵۰/۴۶	۰/۰۶۱	-۰/۶۸۵	
y= 1.7623 x-331.82	ارومیه	نیمه مرطوب	۱۶/۳۲۴	۰/۹۶۳	-۰/۸۰۴	
y= 0.558 x+219.85	رشت	مرطوب	۱۴/۳۹	۰/۹۷۲	-۰/۳۳۴	
y= -0.3948 x+1019.3	مشهد	نیمه خشک	۳۱/۴۳	۰/۷۹۵	-۰/۰۱۵	MAK
y= 0.7368 x+405.29	یزد	خشک	۳۶/۰۱	۰/۶۸۲	-۰/۰۹۳	
y= 0.5989 x+783.76	قزوین	نیمه خشک	۵۵/۶۷	-۰/۳۸۳	-۰/۶۸۷	
<b>زیست توده (ton/ha)</b>						
y= 0.9503 x+1.6501	ارومیه	نیمه مرطوب	۱/۳۷۸	۰/۹۹۹	-۰/۹۹۷	
y= 0.9672 x+1.2303	رشت	مرطوب	۱/۵۳	۰/۹۹۹	-۰/۹۸۳	
y= 1.3058 x-8.3288	مشهد	نیمه خشک	۱/۳۷۷	۰/۹۹۹	-۰/۸۳۵	P.T
y= 1.0871 x-2.5193	یزد	خشک	۲/۴۳۴	۰/۹۹۹	-۰/۹۳۹	
y= 0.7165 x+7.3232	قزوین	نیمه خشک	۲/۶۰۲	۰/۹۹۹	-۰/۴۹۱	
y= 0.9591 x+0.9986	ارومیه	نیمه مرطوب	۰/۴۹۵	۰/۹۹۹	-۰/۹۹۸	
y= 0.9971 x+0.0971	رشت	مرطوب	۰/۲۱۷	۰/۹۹۹	-۰/۹۹۵	
y= 1.2396 x-6.8846	مشهد	نیمه خشک	۱/۸۴۶	۰/۹۹۹	-۰/۸۹۶	T
y= 1.0697 x-2.1782	یزد	خشک	۲/۶۲۷	۰/۹۹۹	-۰/۹۵۴	
y= 1.2616 x-8.8655	قزوین	نیمه خشک	۵/۶۰۴	۰/۹۹۷	-۰/۶۳۳	
y= 0.9556 x+0.9967	ارومیه	نیمه مرطوب	۰/۸۱	۰/۹۹۹	-۰/۹۹۸	
y= 1.0085 x-0.288	رشت	مرطوب	۰/۳۱۵	۰/۹۹۹	-۰/۹۹۵	
y= 1.2292 x-6.7534	مشهد	نیمه خشک	۲/۲۴۵	۰/۹۹۹	-۰/۸۹۷	MAK
y= 1.0715 x-2.3411	یزد	خشک	۳/۱۱۴	۰/۹۹۹	-۰/۹۵۵	
y= 1.2246 x-7.9283	قزوین	نیمه خشک	۵/۹۴۷	۰/۹۹۶	-۰/۵۹۸	





شکل ۲- روند برآورد تبخیر-تعرق ذرت با استفاده از روش‌های مختلف برآورد ET در ایستگاه‌های موردنظر



شکل ۳- روند برآورد زیست توده ذرت با استفاده از روش های مختلف برآورد ET در ایستگاه های مورد نظر

### نتیجه گیری

هدف فائو از توسعه مدل آکواکراپ، فراهم کردن ابزاری برای کمک به طراحان، کشاورزان و مدیران کشت و صنعت ها جهت انتخاب مدیریت بهینه آبیاری در سیستم های مختلف کشاورزی موجود در سراسر جهان است. بنابراین ارزیابی و اعتباربخشی مدل به ویژه برای محصول های استراتژیک ضروری است. با توجه به اهمیت دقت در برآورد تبخیر-تعرق مرجع و استفاده از آن برای شبیه سازی میزان عملکرد، تبخیر-تعرق واقعی و زیست توده با مدل AquaCrop، دقت داده ها در برابر داده های مشاهده ای بدست آمده برای هر پنج ایستگاه

ارزیابی شد و براساس نتایج از بین روش های دمایی، روش بلانی-کریدل در ایستگاه ارومیه با آماره های  $R^2$  برابر ۰/۹۵، NRMSE متوسط و شاخص نش-ساتکلیف ۰/۹۶، ایستگاه رشت با آماره های  $R^2$  برابر ۰/۶۷، NRMSE خوب و شاخص نش-ساتکلیف ۰/۹۸، ایستگاه مشهد با آماره های  $R^2$  برابر ۰/۷۳، NRMSE خوب و شاخص نش-ساتکلیف ۰/۹۷، ایستگاه یزد با آماره های  $R^2$  برابر ۰/۶۷، NRMSE متوسط و شاخص نش-ساتکلیف ۰/۹۶ و در ایستگاه قزوین با آماره های  $R^2$  برابر ۰/۸۴، NRMSE خوب و شاخص نش-ساتکلیف ۰/۹۸ در الویت اول برای شبیه سازی و ارزیابی



- Masasi, B., Taghvaeian, S., Gowda, P.H., Warren, J. and Marek, G. 2019. Simulating soil water content, evapotranspiration, and yield of variably irrigated grain sorghum using AquaCrop. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 55(4): 976-993.
- Mebane, V.J., Day, R.L., Hamlett, J.M., Watson, J.E. and Roth G.W. 2013. Validating the FAO AquaCrop model for rainfed maize in Pennsylvania. *Agronomy Journal*. 105 (2), 419-427.
- Moran, M.S., Scott, R.L., Keefer, T.O., Emmerich, W.E., Hernandez, M., Nearing, G.S., Paige, G.B., Cosh, M.H. and O'Neill, P.E. 2009. Partitioning evapotranspiration in semiarid grassland and shrubland ecosystems using time series of soil surface temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149: 59-72.
- Nandagiri, L. and Kooroor, G.M. 2005. Sensitivity of the food and agriculture organization Penman-Monteith evapotranspiration estimates to alternative procedures for estimation of parameters. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 131(3): 238-248.
- Nash, J.E. and Sutcliffe, J. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part 1, A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10, 282-290.
- Newman, B.D., Wilcox, B.P., Archer, S.R., Breshears, D.D., Dahm, C.N., Duffy, C.J., McDowell, N.G., Phillips, F.M., Scanlon, B.R. and Vivoni, E.R. 2006. Ecohydrology of water-limited environments. A scientific vision. *Water Resources Research*. 42: 1-15.
- Smith, M. 1992. CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46. FAO, Rome, Italy.
- Stricevic, R., Dzeletovic, Z., Djurovic, N., and Cosic, M. 2014. Global change biology bioenergy. doi 10.1111/gcbb. 12206.
- Stöckle, C.O., Donatelli, M. and Nelson, R. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy*. 18(3-4), 289-307.
- Van Diepen, C.A., Wolf, J., van Keulen, H. and Rappoldt, C. 1989. WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil Use and Management*. 5(1), 16-24.
- علوم و مهندسی آب. ۱۰ (۴): ۶۳-۷۴.
- قربانپان کردآبادی، م.، لیاقت، ع.، وطن‌خواه، ا.، نوری، ح. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی عملکرد و تبخیر و تعرق ذرت علوفه‌ای با استفاده از مدل AquaCrop. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*. ۴ (۲): ۴۴-۴۷.
- Allen, R.G, Pereira, L.S., Raes, D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirement. *Irrigation and Drainage Paper.No.56, FAO, Rome, Italy, 300 pp.*
- Ayars, J.E., Fulton, A. and Taylor, B. 2015. Subsurface drip irrigation in California-Here to stay? *Agric Water Manage*. 157: 39-47.
- Farahani, H.J., Izzi, G. and Oweis, T.Y. 2009. Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. *Agronomy Journal*. 101(3): 469-476.
- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H. and Arnold, J.G. 2007. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE*. 50(4): 1211-1250.
- Haydarinia, M., Naseri, A.A. and Broomabd-Nasab, S. 2012. Investigate the possibility of application of AquaCrop model for irrigation scheduling of sunflower in Ahwaz. *Journal of Water Resources*. 5(1), 39-41.
- Heng, L.K., Hsiao, T., Evett, S., Howell, T. and Steduto, P. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*. 101(3): 488-498.
- Jamieson, P.D., Porter, J.R., and Wilson, D.R. 1991. A test of computer simulation model ARG-WHEAT1 on wheat crops in New Zealand. *Field Crops Res*. 27, 337-350.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*. 18(3): 235-265.
- Junior, W. de C., Loireau, M., Fargette, M., Filho, B. C., and Wélé, A. 2017. Correlation between soil erodibility and satellite data on areas of current desertification: a case study in Senegal. *Ciência & Trópico*. 41(2): 51-66.

## Evaluation of the Effect of some Temperature and Radiation Methods for Estimation of Reference Evapotranspiration ( $ET_0$ ) on Maize Actual Evapotranspiration and Biomass

H. Ramezani etedali<sup>1\*</sup>, F. Safari<sup>2</sup>

Received: Oct.14, 2022

Accepted: Nov.18, 2022

### Abstract

Iran is located in the arid and semi-arid belt of the world, which is characterized by low rainfall, thunderstorms, flood flows, and high evapotranspiration. So, quantitative evaluation of evapotranspiration on a regional scale is necessary for water resources management, crop production, and environmental assessments in irrigated lands. In recent years, many crop models are developed for simulation of crop growth and yield in various fields and irrigation managements. These models can simulate crop growth and crop yield. AquaCrop model is a pervasive model and is developed by FAO that can be used in growth simulating and modeling of many crops. In this study, the effect of different methods for estimation of reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) on actual evapotranspiration (ET) and biomass at five stations by AquaCrop model was studied and evaluated. For this purpose, the reference evapotranspiration rate was estimated by using two temperature methods and three radiation methods and the results were statistically evaluated by the reference method FAO-56. Based on the evaluation, temperature method, the Blaney-Criddle had for both parameters of ET and biomass in five stations with  $R^2$  value greater than 0.5 (strong), moderate to excellent NRMSE and NS close to one, the Turc and the Makkink, radiation methods, with  $R^2$  greater than 0.5, excellent NRMSE and NS equal to 0.99 for biomass in five stations were the best. Among the radiation methods for ET, the Priestley-Taylor method had medium and strong  $R^2$ , good to medium NRMSE and NS equal to 0.96 in Qazvin and Mashhad stations and the Turc method with  $R^2$  greater than 0.5, excellent NRMSE and NS equal to 0.98 for Urmia had an optimal and better simulation compared to other estimation methods. Among the studied radiation methods, no suitable method was found to evaluate ET for Rasht and Yazd stations.

**Keywords:** AquaCrop, ET, Iran, Yield, Simulation

1- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2- PhD Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

(\* Corresponding Author Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)