

Evaluation Of Production Functions In Estimating Two Varieties of Corn Yield With Native Yield Response Factor In The Iran

ARASH TAFTEH^{1*}, MOHAMMAD MEHDI NAKHJAVANIMOGHADDAM², ASLAN EGDERNEZHAD³, SALOOMEH SEPEHRI SADEGHIYAN²

1. Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

2. Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

3. Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

(Received: June. 20, 2020, Revised: July. 31, 2020- Accepted: Aug. 10, 2020)

ABSTRACT

Due to limited water resources and the problem of water distribution in irrigation and drainage networks and non-compliance of plant irrigation needs with existing irrigation periods, a water stress is introduced to the plants systematically. Therefore, in this study, two production functions of Raes (2004) and Tafteh *et al.* (2013) were evaluated for corn using the yield response factor suggested by Tafteh *et al.* (2014a). For this purpose, two varieties of corn 500 and 302 were harvested in two years of cultivation with irrigation treatments of 100, 75 and 50% of water requirement and their yield values were evaluated using the proposed functions. The results showed that both production functions in determining corn yield of 500 and 320 together with the amount of root mean square error is about 591 kg / ha, the normal root mean square error is about 8% and the mean bias error is about 25 kg / ha. The agreement index was about 0.94 and the efficiency factor index of the model was about 0.81. These statistical results showed that the proposed functions are highly effective in determining the yield of both varieties. A separate study of these two varieties also showed that the 302 cultivar has lower yield and in water shortage conditions, its sensitivity to the plant, especially in the middle period of growth, is higher than the 500 cultivar. Therefore, cultivar 500 has a higher yield than cultivar 302 and in water shortage conditions, its sensitivity coefficients are less and it shows more resistance to water stress. Yield response factor of cultivar 302 in the initial, middle and final stages of growth were determined to be 0.5, 1.4 and 0.8, respectively Which is different from the suggested values.. Therefore, it is necessary to evaluate the proposed cultivars in water stress conditions using production functions.

Keywords: Grain Corn, Production Function, Yield Response Factor, Water Stress.

* Corresponding Author's Email: arash_tafteh@yahoo.com

بررسی توابع تولید در تخمین عملکرد ذرت دانه‌ای با استفاده از ضرایب واکنش عملکرد بومی در ایران

آرش تافته^{۱*}، محمدمهدی نخجوانی مقدم^۲، اصلان اگدرنژاد^۳، سالومه سپهری صادقیان^۲

۱. بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۲. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳. گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۳۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۵/۱۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۵/۲۰)

چکیده

با توجه به منابع محدود آب و مشکل توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و عدم انطباق نیاز آبیاری گیاه با دوره‌های آبیاری موجود یک تنش آبی به گیاهان به‌طور سیستماتیک وارد می‌شود. از این‌رو در این مطالعه دو تابع تولید (Raes (2004) و Tafteh et al (2013) با استفاده از ضرایب حساسیت گیاه پیشنهاد شده توسط Tafteh et al (2014a) برای ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور عملکرد دانه دو رقم ذرت دانه‌ای ۵۰۰ و ۳۰۲ در دو سال کشت با تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی برداشت و با استفاده از دو تابع تولید مطرح شده ارزیابی شد. نتایج نشان داد تابع تولید Tafteh در تعیین عملکرد دو رقم ۵۰۰ و ۳۲۰ به‌طور متوسط با مقدار ریشه مربعات میانگین خطا حدود ۵۶۲ کیلوگرم در هکتار، ریشه مربعات میانگین خطای نرمال حدود ۸ درصد و میانگین انحراف خطا حدود ۱۶۸ کیلوگرم در هکتار بسیار خوب عمل کرده است. همچنین شاخص توافق حدود ۰/۹۵ و شاخص کارایی مدل حدود ۰/۸۳ به دست آمد. این نتایج آماری نشان داد که توابع مطرح شده کارایی بالایی در تعیین عملکرد هر دو رقم دارند. بررسی تفکیک شده این دو رقم نیز نشان داد که رقم ۳۰۲ دارای عملکرد کم‌تر و در شرایط کم‌آبی ضرایب حساسیت آن به گیاه به‌ویژه در دوره میانی رشد بیش‌تر از رقم ۵۰۰ می‌باشد. لذا رقم ۵۰۰ نسبت به رقم ۳۰۲ عملکرد بالاتری دارد و در شرایط کم‌آبی ضرایب حساسیت آن کمتر بوده و مقاومت بیشتری در تنش آبی از خود نشان می‌دهد. ضرایب حساسیت رقم ۳۰۲ در دوره‌های اولیه، میانی و انتهایی رشد به ترتیب برابر با ۰/۵، ۱/۴ و ۰/۸ تعیین گردید که با مقادیر پیشنهادی متفاوت است. لذا لازم است ارقام پیشنهادی در شرایط کم‌آبی با استفاده از توابع تولید مورد ارزیابی قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید، تنش آبی، ضریب حساسیت گیاه، ذرت دانه‌ای.

مقدمه

کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. علاوه بر کمبود باران، توزیع زمانی و مکانی آن نیز بسیار غیریکنواخت است. به طوری که حتی پرباران‌ترین نقاط کشور نیز در فصل تابستان نیاز به آبیاری دارند. از سوی دیگر در اکثر مناطق کشور آب لازم برای محصولات کشاورزی از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود بنابراین فناوری مصرف بهینه آب در ایران بسیار حائز اهمیت است.

در قرن اخیر بحران غذا یکی از اساسی‌ترین مسائل بشر بوده است که تلاش برای حل آن به کمک دو شیوه کنترل رشد جمعیت و افزایش تولیدات کشاورزی مؤثر می‌باشد. در این راستا با توجه به اهمیت محصولات اساسی و راهبردی گروه غلات و از جمله ذرت که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم عمده‌ترین بخش

مواد غذایی جهان را تشکیل می‌دهند، برنامه‌ریزی لازم در جهت افزایش تولید این محصولات غیرقابل اجتناب است. در بین گیاهان زراعی، ذرت به دلیل داشتن ویژگی‌های فراوان و قدرت سازگاری بالا در شرایط اقلیمی گوناگون، تولید بالای ماده خشک، ارزش غذایی مطلوب و همچنین راندمان بالای مصرف آب، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. این گیاه پس از گندم و برنج مهم‌ترین گیاه زراعی جهان محسوب می‌شود. در ایران با توجه به نیاز مبرم به این محصول و نقصان شدید تولید داخلی، سالانه مقادیر زیادی ارز از کشور خارج و ذرت از کشورهای همسایه وارد می‌گردد.

عملکرد ذرت همبستگی بالایی با قابلیت دسترسی به آب دارد. اگرچه عوامل دیگر مانند تراکم و کود نیز بر عملکرد ذرت تأثیرگذار هستند، ولی این عوامل معمولاً با مقدار آبی که گیاه در طول فصل رشد در دسترس دارد تنظیم می‌شوند. همچنین مشخص گردیده است که هیبریدهای زودرس در استفاده از آب

راهکارهای آبیاری را برای بهبود بهره‌وری کشاورزی تسهیل کند. تحقیقات زیادی برای تعیین کمیت پاسخ عملکرد ذرت به نقص رطوبت خاک و ارزیابی اثرات آبیاری کسری (DI) بر بهره‌وری آب انجام شده است. بهره‌وری آب بالا بدون کاهش قابل توجه عملکرد بدون داشتن توابع تولید مناسب امکان‌پذیر نیست برای دستیابی به توسعه پایدار آب و ارزیابی مزایای شیوه‌های آبیاری در منطقه توابع تولید آب زراعی بسیار پراهمیت هستند (Ebrahimipak et al., 2017).

رابطه آب و عملکرد تابع تولید توسط Doorenbos and Kassam (1979) ارائه شده است که رابطه بین کاهش نسبی محصول و کمبود تبخیر - تعرق نسبی که همان نسبت جذب آب در شرایط واقعی به استاندارد هست را به صورت زیر ارائه نمودند:

$$1 - \frac{y}{y_m} = k_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن y : عملکرد واقعی در هر منطقه (کیلوگرم بر هکتار)، y_m : حداکثر عملکرد در حالتی که هیچ‌گونه محدودیتی از نظر آب برای گیاه وجود نداشته باشد (کیلوگرم بر هکتار)، ET_a : تبخیر - تعرق واقعی (میلی‌متر)، ET_m : حداکثر تبخیر-تعرق گیاه (میلی‌متر)، k_y : ضریب حساسیت عملکرد محصول نسبت به آب می‌باشد که هر یک از پارامترهای فوق در هر منطقه کشاورزی به دلیل تفاوت‌های اقلیمی، هواشناسی، کیفیت آب و خاک در هر منطقه متفاوت هستند. نکته مهم در این رابطه ساده‌سازی محاسبات برای کل فصل رشد می‌باشد. بنابراین از این معادله به‌تنهایی نمی‌توان برای کم آبیاری‌های چندمرحله‌ای استفاده کرد؛ و در مدل‌های پیشرفته امروزی که داده‌های را به صورت روزانه محاسبه می‌کنند غیرقابل استفاده است. از طرف دیگر در مناطق کشاورزی خشک و نیمه‌خشک کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه اتفاق می‌افتد و این کم آبیاری‌ها در دوره‌های مختلف رشد گیاه بر هم اثرات متقابل و پیچیده‌ای را ایجاد می‌کنند؛ بنابراین Rao et al. (1988) برای تنش‌های چندمرحله‌ای و تخمین کاهش محصول مدل کلی زیر را ارائه کردند:

$$\frac{y_a}{y_m} = F \left(1 - K_{yi} \left(1 - \frac{ET_{ai}}{ET_{mi}} \right) \right) \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن Y_a : عملکرد واقعی (کیلوگرم بر هکتار)، Y_m : حداکثر عملکرد پتانسیل محصول (کیلوگرم بر هکتار)، ET_a : تبخیر-تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر)، ET_m : تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه (میلی‌متر)، K_y : ضریب واکنش عملکرد گیاه در بازه i و F : تابع ریاضی کاربردی است که باید موردبررسی قرار گیرد. با مطرح شدن تنش‌های چندمرحله‌ای چالشی جدید به روی محققین باز شد و توابع ریاضی متعددی جای این تابع F را

برای تولید دانه کارآمدتر هستند و تحت شرایط خشکی طولانی‌مدت، ذرت زودرس عملکرد بهتری نسبت به تیپ‌های دیررس می‌تواند تولید نماید، چراکه آب خاک را به سرعت تخلیه نمی‌کند؛ بنابراین علاوه بر راهکارهای مدیریتی نظیر برنامه‌ریزی صحیح آبیاری، توجه به راهکارهای زراعی نظیر انتخاب ارقام با عملکرد بالا و اعمال تراکم کاشت بهینه گیاه، نیز سبب افزایش بهره‌وری آب کشاورزی می‌گردد (Ebrahimipak et al. 2020). مصرف ذرت و همچنین سطح زیر کشت آن طی سالیان اخیر در اغلب کشورهای جهان به سرعت رو به افزایش است. این نسبت از سال ۱۹۸۴ میلادی به بعد رشد زیادتری داشته است. سازمان خواروبار جهانی (FAO) در سال ۲۰۱۶ سطح زیر کشت ذرت در جهان را بالغ بر ۱۸۷ میلیون هکتار و میانگین عملکرد آن را در همان سال ۵۶۴۰ کیلوگرم در برآورد نمود. بر اساس داده‌های فائو در همین سال سطح زیر کشت ذرت در ایران ۲۶۷ هزار هکتار، مجموع تولید آن ۱/۴۵ میلیون تن و میانگین عملکرد آن ۵۴۳۰ کیلوگرم در هکتار بود. از این نظر در بین غلات پس از گندم و برنج در رتبه سوم قرار گرفته است (FAO, 2016).

Panda et al. (2004) آزمایشی را به منظور تعیین یک روش مؤثر برای مدیریت آبیاری ذرت در شرایط کم‌آبی در یک ناحیه نیمه‌گرمسیری انجام دادند. تیمارهای آزمایشی بر مبنای سطوح متفاوت حداکثر تخلیه مجاز رطوبت خاک، انتخاب گردیدند. آن‌ها مشاهده کردند که گیاه ذرت بیشترین آب موردنیاز خود را از عمق ۰ تا ۴۵ سانتیمتری از سطح خاک جذب می‌کند؛ بنابراین آن‌ها توصیه کردند که برای برنامه‌ریزی آبیاری گیاه ذرت در یک خاک با بافت شنی لومی و تحت شرایط آب و هوایی نیمه گرمسیری، میزان رطوبت خاک تنها در عمق ۰ تا ۴۵ سانتی‌متری از سطح خاک مدنظر قرار گیرد.

Dagdelen et al. (2006) یک آزمایش زراعی در طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۴ در کشور ترکیه و به منظور بررسی اثر کم آبیاری بر روی عملکرد، کارایی مصرف آب، کل ماده خشک و شاخص سطح برگ دو گیاه ذرت و پنبه انجام دادند. آن‌ها دریافتند که کم آبیاری اثر معنی‌داری بر روی عملکرد هر دو گیاه نداشت و بیشترین عملکرد محصول نیز در هر دو گیاه در تیمار آبیاری کامل حاصل شد. همچنین آن‌ها نتیجه گرفتند که متوسط دامنه تغییرات بهره‌وری مصرف آب گیاه ذرت بین ۱/۶۵ تا ۲/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و متوسط دامنه تغییرات بهره‌وری مصرف آب برای همین گیاه بین ۲/۳۰ تا ۳/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود.

هرچه چالش‌های افزایش آب برای آبیاری رواج بیشتری پیدا کند، دانش پاسخ به عملکرد محصول به آب می‌تواند توسعه

تبخیر - تعرق گیاه (میلی‌متر)، k_{yi} : ضریب واکنش عملکرد گیاه نسبت به آب، i : مرحله رشد و توسعه، n : تعداد مراحل دوره رشد است. از این توابع می‌توان در برنامه‌ریزی آبیاری و بررسی سناریوهای مختلف توزیع آب استفاده نمود (Tafteh *et al.*, 2014b).

Moberly *et al.* (2017) با بررسی توابع تولید آب عملکرد گزارش کردند که پاسخ عملکرد سورگوم دانه به افزایش مصرف آب به‌طور کلی ۷۵٪ بیشتر از گندم زمستانه است، همان‌طور که برای محصولات با فیزیولوژی C3 و C4 انتظار می‌رود. رابطه عملکرد گندم زمستانه با استفاده از آب زراعی، شبیه‌سازی شده با روابط توسعه یافته مشابه بود. آستانه عملکرد شبیه‌سازی شده با آستانه عملکرد مشاهده شده برای هر دو گیاه گندم و سورگوم در همه موارد به جز یک مورد مطابقت داشت. Jorooni *et al.* (2017) با بررسی تابع تولید آب - اجزای عملکرد و واکنش کل ماده‌ی خشک، دانه و شاخص برداشت به سطوح مختلف آب در گیاه ذرت گزارش نمودند که تابع تولید آب با عملکرد کل ماده خشک، دانه و ساقه به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۸۹۷، ۰/۶۸۲ و ۰/۹۲۷ و در سطح یک درصد معنی‌دار تخمین می‌زند.

Sarayi *et al.* (2012) با اعمال تیمارهای کم آبیاری در کشت سویا گزارش نمودند که ضریب گیاهی در چهار مرحله رشد شامل: اولیه (Kc ini)، توسعه (Kc adv)، میانی (Kc mid) و همچنین در مرحله نهایی (Kc lat) به ترتیب ۰/۳۴، ۰/۷، ۰/۴۴ و برآورد نمودند. متوسط ضریب تنش (Ks) در تیمارهای کم آبیاری سنتی در حد ۷۵ و ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک و تیمار آبیاری بخشی (PRD) به ترتیب برابر 0.89، 0.76، 0.7 بود. این شواهد نشان می‌دهد در تیمار آبیاری بخشی علیرغم اینکه میزان آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل و تنش ۷۵ و ۵۰ درصد به ترتیب به میزان ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد کاهش داشته ولی ضرایب تنش به همان نسبت تغییر نکرده است که این امر نشان‌دهنده سازگاری گیاه در شرایط آبیاری بخشی است.

Zhao *et al.* (2019) با بررسی عملکرد دانه گندم بهاره (*Triticum Beautivum L.*) به دلیل بارش محدود و بسیار متغیر در فلات غربی لس در چین تابع تولید را به‌عنوان یک ابزار ساده برای پیش‌بینی عملکرد دانه گندم بهاره و ارزیابی کارایی ریسک افت عملکرد پیشنهاد نمودند. سپس برای ارقام موجود در منطقه این توابع را واسنجی و ارائه نمودند. Tafteh and ebrahimipak (2018) با ارزیابی توابع تولید حاصل‌ضرب اصلاح‌شده ریس و حاصل‌ضربی اصلاح‌شده در برآورد عملکرد گیاه کلزا تحت شرایط کم آبیاری در بازه‌های ماهانه، مراحل چهارگانه رشد و کل دوره رشد نشان دادند که روش اصلاحی در بازه کل دوره رشد با

گرفتند. Jensen (1968) نیز رابطه حاصل‌ضربی را برای تابع عملکرد به‌صورت زیر اصلاح نمود.

$$\frac{y}{y_m} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن $\frac{ET_{a,i}}{ET_{m,i}}$ نسبت کاهش تبخیر واقعی به پتانسیل

و λ ضریب توانی است که برای هر گیاه در هر دوره از رشد باید کالیبره شود و مشخص نشد که این توان چگونه قابل‌تعریف است. سرانجام Raes (2004) در مدل شبیه‌سازی بیلان آب و املاح (BUDGET) رابطه زیر را به‌کار برد که در آن مراحل مختلف رشد هر یک به چند بازه زمانی کوچک‌تر تقسیم می‌شوند و توان معادله حاصل‌ضربی که تا قبل از این تعریفی برای آن وجود نداشت به‌صورت تابع زمانی نسبی تعریف شد که رابطه آن به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{y}{y_m} = \prod_{j=1}^n \left(1 - k_{yi} \left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}} \right) \right)^{\Delta t_j / L_i} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن n : تعداد بازه‌های زمانی به مدت Δt_j (روز) در مرحله رشد i ، n : تعداد مراحل دوره رشد، L_i : طول کل مراحل رشد (روز)، $ET_{a,j}$: تبخیر - تعرق واقعی در بازه زمانی j ، $ET_{m,j}$: تبخیر - تعرق پتانسیل در بازه زمانی j و k_{yi} : ضریب حساسیت عملکرد نسبت به آب در بازه زمانی i است.

در ادامه این روند با توجه به اینکه در دوره خواب گیاه، گیاه حساسیت زیادی به تنش رطوبتی ندارد لذا دوره رشدی که در این حدود قرار می‌گیرد نباید در محاسبات وارد گردد. از طرفی هر چه که بازه رشد بیشتر باشد نشان‌دهنده اهمیت آن مرحله نیست زیرا در گیاهان چند چین دوره برداشت طولانی است ولی این دلیل نمی‌شود که دوره انتهایی رشد گیاه حساسیت بیشتری نسبت به سایر دوره‌ها داشته باشد (Ebrahimipak and Tafteh, 2017)؛ بنابراین لازم بود که تعریف بهتری از توان توابع تولید جنسن ارائه شود. برای در نظر گرفتن این مورد (Tafteh 2013) *et al.* تحقیقات گسترده‌ای را بر روی بازه‌های مختلف و توان‌های مختلف انجام دادند و در نهایت توان نسبی بر اساس نسبت ضریب واکنش عملکرد به کل ضرایب واکنش به‌عنوان توان معادله حاصل‌ضربی پیشنهاد دادند که رابطه آن به‌صورت زیر ارائه شد:

$$\frac{y_a}{y_p} = \prod_{i=1}^n \left(1 - K_{yi} \left(1 - \frac{ET_{a,i}}{ET_{m,i}} \right) \right)^{\frac{K_{yi}}{\sum_{i=1}^n K_{yi}}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن Y_a : عملکرد واقعی، Y_p : حداکثر عملکرد در حالتی که هیچ‌گونه محدودیتی از نظر آب برای گیاه وجود نداشته باشد، $ET_{a,i}$: تبخیر - تعرق واقعی (میلی‌متر)، $ET_{m,i}$: حداکثر

دانه‌ای ۵۰۰ و ۳۰۲، در طی دو سال زراعی در مزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات فنی مهندسی واقع در شهرستان کرج در ایستگاه تحقیقاتی ۴۰۰ هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر انجام شد. این مزرعه در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی قرار داشته و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا در حدود ۱۳۱۲ متر می‌باشد. از آنجاکه این دو رقم انتخابی ذرت دارای تاریخ کاشت و تراکم کاشت متفاوت با یکدیگر بودند، لذا این پژوهش به صورت دو آزمایش مستقل Split Plot در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. هر کرت ۱۲ در ۵ متر و فاصله بین هر کرت ۶ متر جهت عدم تداخل تیمارها در نظر گرفته شد. شهرستان کرج در آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه کرج ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. حداکثر بارندگی در فروردین‌ماه معادل ۲۹/۵ میلی‌متر و حداقل میزان بارندگی در تیرماه معادل ۰/۵ میلی‌متر است. گزارش شده است که بیشترین معدل درجه حرارت در تیرماه ۳۸ درجه سانتی‌گراد و کمترین معدل درجه حرارت در دی‌ماه ۶- درجه سانتی‌گراد می‌باشد و متوسط درجه حرارت روزانه ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد است.

جهت کشت ذرت رقم ۵۰۰ از تراکم کاشت ۸۵۰۰۰ بوته در هکتار و رقم ۳۰۲ از تراکم ۹۰۰۰۰ بوته در هکتار استفاده شد و برای تعیین بافت و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش نمونه‌هایی از اعماق ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متری گرفته شد. نتایج مذکور در جدول (۱) ارائه شده است.

کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده به ترتیب به مقدار ۴۲۳ و ۰/۲۱۱ و بیشترین مقدار شاخص توافق و ضریب تبیین به ترتیب برابر با ۰/۷۶ و ۰/۶۴۵ در برآورد عملکرد گیاه کلزا روش مناسب‌تری می‌باشد.

(Saeidi et al. (2018) با بررسی اثر تنش‌های شوری آب و حاصلخیزی خاک بر مقدار تبخیر و تعرق ذرت، گزارش نمودند که مقدار تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی و عملکرد محصول، به ترتیب ۳۷، ۳۷ و ۳۸ درصد کاهش یافت. برای تخمین تبخیر و تعرق از روی تنش‌های شوری و حاصلخیزی، شکل‌های مختلف توابع تولید برازش داده شد. در بین آن‌ها، تابع درجه دوم به دلیل داشتن آماره‌های RMSE و ME حداقل و EF نزدیک به عدد یک، به عنوان تابع بهینه انتخاب شد. نتایج حاصل نشان داد که تنش‌های شوری و حاصلخیزی، اثر کاهنده‌ای بر مقدار تبخیر و تعرق گیاه دارد. لذا با تعیین صحیح نیاز آبی گیاه تحت تنش، می‌توان از مصرف بی‌رویه آب جلوگیری کرد.

در این مطالعه نتایج تحقیقات ارائه شده در مورد ذرت دانه‌ای با استفاده از داده‌های مستقل دو رقم ذرت ۵۰۰ و ۳۰۲ مورد ارزیابی قرار گرفت و توابع تولید مناسب برای بررسی تنش‌های آبی این دو رقم پیشنهاد شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به منظور بررسی توابع تولید آب عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای و دقت آن‌ها در برآورد عملکرد، برای دو رقم جدید ذرت

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

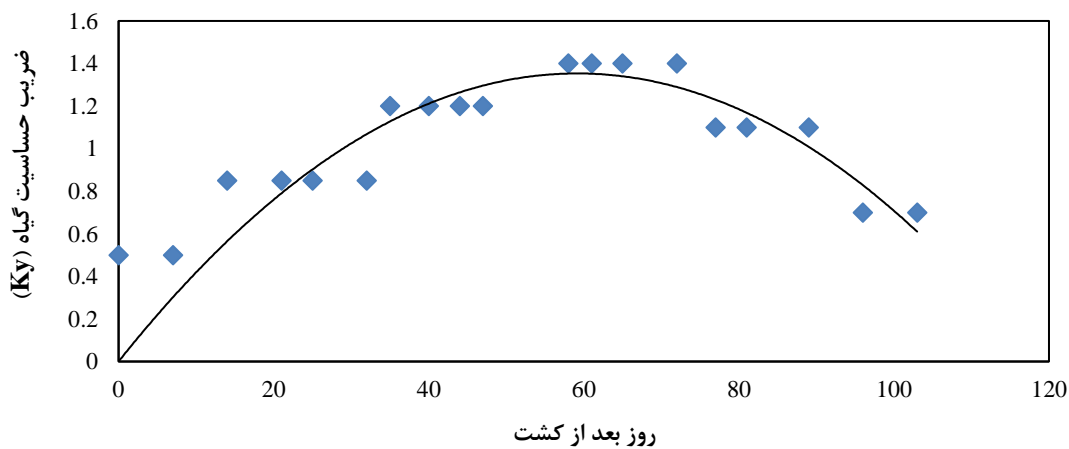
| عمق خاک پارامترها | ۰-۲۰ سانتی‌متر | ۲۰-۴۰ سانتی‌متر | ۴۰-۶۰ سانتی‌متر | ۶۰-۸۰ سانتی‌متر |
|---|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| درصد شن | ۳۹/۷۸ | ۳۵/۹۳ | ۳۶/۰۰ | ۳۲/۰۵ |
| درصد سیلت | ۴۱/۷۲ | ۴۵/۶۴ | ۴۵/۵۹ | ۴۹/۵۸ |
| درصد رس | ۱۸/۵۰ | ۱۸/۴۳ | ۱۸/۴۱ | ۱۸/۳۷ |
| بافت خاک | لوم | لوم | لوم | لوم |
| وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) | ۱/۴۲ | ۱/۴۲ | ۱/۴۲ | ۱/۴۲ |
| رطوبت حجمی در ظرفیت مزرعه‌٪ | ۲۲/۵ | ۲۲/۴۱ | ۲۲/۳۷ | ۲۲/۱ |
| رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی‌٪ | ۹/۸ | ۹/۶ | ۹/۵ | ۹/۴۵ |
| واکنش خاک pH | ۷/۶۲ | ۷/۷۹ | ۷/۵۹ | ۷/۵۴ |
| هدایت الکتریکی EC (dS/m) | ۱/۴۳ | ۱/۷۱ | ۱/۸۱ | ۲/۷۶ |
| (meq/lit) Ca+Mg | ۱۶/۰ | ۲۰/۰ | ۲۴/۰ | ۲۶/۰ |
| (meq/lit) Na | ۴/۱۱ | ۴/۱۸ | ۴/۸۳ | ۵/۴۵ |
| (meq/lit) Cl | ۱۴/۰ | ۱۴/۰ | ۱۲/۰ | ۱۰/۰ |
| (meq/lit) HCO3 | ۲/۰ | ۳/۲ | ۴/۰ | ۴/۰ |
| (meq/lit) SO4 | ۷/۳۸ | ۱۰/۳۲ | ۱۱/۵۱ | ۱۵/۲ |

آبیاری، وجین و مبارزه با علف‌های هرز و تنک کردن بوته‌ها و همچنین یادداشت‌برداری صفات مورفولوژیکی برای همه تیمارها به‌طور یکسان و هم‌زمان در این مرحله انجام گردید. مشخصات کیفیت آب منطقه مورد مطالعه نیز در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار کود مصرفی بر اساس آزمون خاک‌شناسی محاسبه شده مقدار کود فسفات آمونیوم به مقدار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به انضمام نیمی از کود اوره مورد نیاز (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) پیش از کاشت مورد استفاده قرار گرفت و نیمی دیگر کود اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) در مرحله ۹-۸ برگی به‌صورت سرک به مزرعه داده شد و در واقع کود مصرفی در تمام تیمارها یکسان بود. پس از به دست آمدن نتایج با استفاده از ضرایب حساسیت ارائه شده توسط Tafteh *et al.* (2014a) برای گیاه ذرت دانه‌ای طبق شکل (۱) استفاده شد.

سه سطح آبیاری شامل آبیاری بر اساس ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بر اساس بیلان رطوبتی خاک اجرا شد. میزان آب مورد نیاز تیمارهای آزمایشی نیز بر اساس کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی تعیین و با استفاده از کنتور حجمی در اختیار گیاه قرار گرفت. سپس بر اساس نوع تیمار و نیاز آبیاری تا عمق ریشه‌گاه ضرایب کاهشی اعمال و آب آبیاری تعیین و در برای گیاه اعمال شد. در هر دو سال انجام آزمایش مراحل اولیه تهیه زمین در پاییز سال قبل از آن انجام شد. سپس در بهار به محض امکان شروع عملیات کشاورزی، ابتدا شخم متوسط انجام گردید و سپس برای تکمیل آماده‌سازی زمین، دیسک عمودی و افقی زده شد و برای تسطیح زمین از ماله (لولر) استفاده شد و متعاقب آن اقدام به کودپاشی گردید سپس با دیسک ملایم کود با خاک مخلوط گردید و سپس اقدام به کشت با دست شد. عملیات داشت شامل

جدول ۲- مشخصات کیفی آب آبیاری در منطقه مورد مطالعه

| SAR | HCO ₃ | SO ₄ | Cl | K | Ca | Mg | Na | pH | EC |
|---------|------------------|-----------------|----|---|-----|-----|----|-----|-----|
| meq/lit | | | | | | | | | |
| ۱/۹۳ | ۲/۳۵ | ۱/۸ | - | - | ۲/۴ | ۲/۴ | ۳ | ۷/۸ | ۰/۸ |



شکل ۱- ضرایب حساسیت گیاه نسبت به تنش آبی (K_Y) برای گیاه ذرت دانه‌ای

$$NRMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2\right)} / O_{ave} \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{ave})^2} \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$MBE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)\right) \quad (\text{رابطه ۹})$$

که در آن: RMSE ریشه میانگین مربعات خطا، NRMSE ریشه میانگین مربعات خطای نرمال، EF ضریب کارایی مدل و MBE میانگین انحراف خطا هست. پارامترهای O، P، O_{ave} و n به ترتیب داده مشاهده شده، برآورد شده و میانگین داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد.

از داده‌های شکل (۱) و داده‌های تبخیر تعرق دو رقم ۵۰۰ و ۳۰۲ مقدار عملکرد بر اساس توابع تولید ارائه شده توسط Raes *et al.* (2006) و Tafteh *et al.* (2013) شبیه‌سازی شد و نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با استفاده از توابع آماری مورد مقایسه قرار گرفت. کلیه تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزارهای SPSS انجام و برای صحت سنجی نیز از شاخص‌های آماری ذیل استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2\right)} \quad (\text{رابطه ۶})$$

یافته‌ها

متوسط در دو سال حدود ۴۲۶ میلی‌متر بود و تبخیر تعرق رقم ۳۰۲ به‌طور متوسط در دو سال حدود ۴۱۷ میلی‌متر می‌باشد؛ بنابراین نیاز آبی دو رقم حدود ۲ درصد باهم متفاوت است که در محاسبات آبیاری قابل‌اغماض می‌باشد. بنابراین نیاز آبی هر دو رقم ذرت کسان بوده و حال باید بررسی نمود که در قبال تنش‌های وارد شده در تیمارها عملکرد چگونه بوده است. از این رو مقادیر عملکرد به‌دست‌آمده در دو سال برای هر دو رقم مختلف در جدول (۴) ارائه شده است.

بر اساس تیمارهای اعمال شده مقادیر تبخیر-تعرق هر دو رقم با استفاده از روش بیلان تعیین شد که نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری‌ها در مزرعه به شرح جدول (۳) ارائه شد. در این جدول مقادیر تبخیر تعرق اندازه‌گیری شده هر دو رقم در سال اول و دوم ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که تبخیر-تعرق رقم ۵۰۰ به‌طور

جدول ۳- تبخیر تعرق رقم‌های مورد بررسی در دو سال زراعی

| رقم ۵۰۰ | | | | | | رقم ۳۰۲ | | | | | |
|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|
| سال اول | | | سال دوم | | | سال اول | | | سال دوم | | |
| تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار |
| %۵۰ | %۷۵ | %۱۰۰ | %۵۰ | %۷۵ | %۱۰۰ | %۵۰ | %۷۵ | %۱۰۰ | %۵۰ | %۷۵ | %۱۰۰ |
| mm | | | mm | | | mm | | | mm | | |
| ۱۱ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ |
| ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ |
| ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ |
| ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۷/۳ | ۷/۳ | ۷/۳ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۷/۳ | ۷/۳ | ۷/۳ |
| ۴/۵ | ۶ | ۷/۵ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۱ | ۷ | ۹ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۱ |
| ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ |
| ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۷ | ۹ | ۱۱ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۷ | ۹ | ۱۱ |
| ۱۵ | ۲۰ | ۲۵ | ۱۰ | ۱۴ | ۱۹ | ۱۸ | ۲۴ | ۳۰ | ۱۰ | ۱۴ | ۱۹ |
| ۱۳ | ۱۷ | ۲۲ | ۱۴ | ۱۹ | ۲۵ | ۱۶ | ۲۷ | ۲۷ | ۱۴ | ۱۹ | ۲۵ |
| ۱۸ | ۲۴ | ۳۰ | ۶ | ۹ | ۱۲ | ۱۶ | ۲۱ | ۲۶ | ۶ | ۹ | ۱۲ |
| ۲۰ | ۲۷ | ۳۳ | ۱۰ | ۱۴ | ۱۸ | ۲۱ | ۲۸ | ۳۵ | ۱۰ | ۱۴ | ۱۸ |
| ۱۷ | ۲۲ | ۲۸ | ۱۰ | ۱۳ | ۱۶ | ۱۷ | ۲۲ | ۲۸ | ۱۰ | ۱۳ | ۱۶ |
| ۲۳ | ۳۰ | ۳۸ | ۲۰ | ۲۶ | ۳۲ | ۲۴ | ۳۱ | ۳۹ | ۲۰ | ۲۶ | ۳۲ |
| ۲۳ | ۳۱ | ۳۸ | ۱۸ | ۲۴ | ۳۰ | ۲۳ | ۳۱ | ۳۸ | ۱۸ | ۲۴ | ۳۰ |
| ۱۹ | ۲۳ | ۲۹ | ۱۶ | ۲۱ | ۲۵ | ۱۸/۵ | ۲۳ | ۲۹ | ۱۶ | ۲۱ | ۲۵ |
| ۱۵ | ۲۰ | ۲۵ | ۱۲/۶ | ۱۶/۸ | ۲۰/۵ | ۱۹/۵ | ۲۶ | ۳۲/۵ | ۱۲/۶ | ۱۶/۸ | ۲۰/۵ |
| ۲۳ | ۳۰ | ۳۸ | ۱۱/۳ | ۱۵ | ۱۹ | ۲۳ | ۳۰ | ۳۸ | ۱۱ | ۱۵ | ۱۹ |
| ۱۸ | ۲۴/۵ | ۳۰ | ۲۴ | ۳۲ | ۴۰ | ۱۸ | ۲۴ | ۳۰ | ۲۴ | ۳۲ | ۴۰ |
| ۱۸ | ۲۴/۵ | ۳۰ | ۱۹/۵ | ۲۶ | ۳۳ | ۱۸ | ۲۵ | ۳۰ | ۲۰ | ۲۶ | ۳۳ |
| ۲۹۶/۵ | ۳۷۱ | ۴۴۴ | ۲۷۱/۷ | ۳۴۰/۱ | ۴۰۹/۸ | ۳۰۹ | ۳۹۲ | ۴۶۴ | ۲۴۸/۷ | ۳۰۹/۱ | ۳۷۰/۸ |

جدول ۴- عملکرد دانه ذرت رقم‌های مورد بررسی در دو سال زراعی

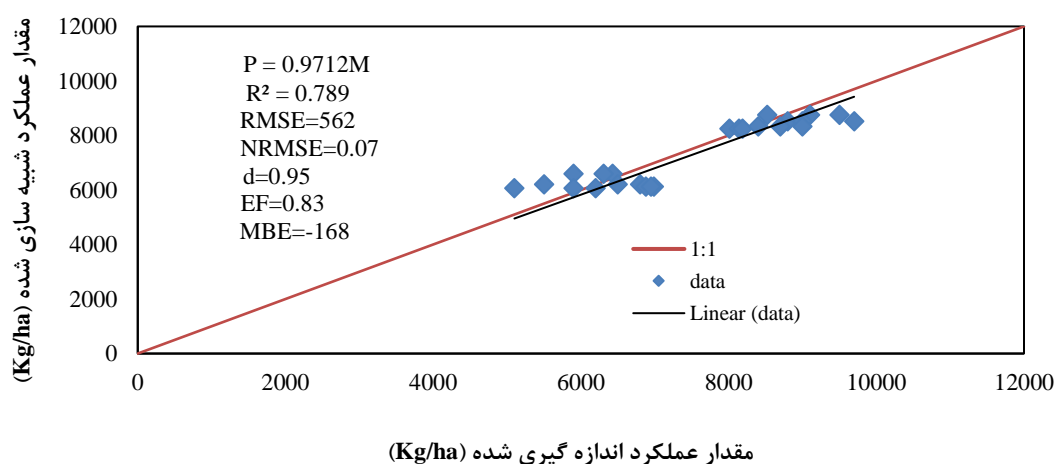
| رقم ۵۰۰ | | | | | | رقم ۳۰۲ | | | | | |
|------------------|-------|-------|------------------|-----------|-------|------------------|-----------|-------|------------------|-----------|-------|
| سال اول | | | سال دوم | | | سال اول | | | سال دوم | | |
| تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار | تیمار |
| %۵۰ | %۷۵ | %۱۰۰ | %۵۰ | تیمار %۷۵ | %۱۰۰ | %۵۰ | تیمار %۷۵ | %۱۰۰ | %۵۰ | تیمار %۷۵ | %۱۰۰ |
| کیلوگرم در هکتار | | | کیلوگرم در هکتار | | | کیلوگرم در هکتار | | | کیلوگرم در هکتار | | |
| ۶۴۲۸ | ۹۱۰۲ | ۱۱۲۳۰ | ۶۵۰۰ | ۸۸۰۰ | ۱۱۱۰۰ | ۶۹۹۰ | ۸۰۱۰ | ۹۹۰۰ | ۵۹۰۰ | ۸۷۰۰ | ۱۰۱۰۰ |
| ۶۳۰۸ | ۹۵۰۰ | ۱۰۷۳۰ | ۵۵۰۰ | ۹۷۰۰ | ۱۰۸۰۰ | ۶۸۸۰ | ۸۱۴۰ | ۹۸۹۰ | ۵۱۰۰ | ۸۴۰۰ | ۹۷۰۰ |
| ۵۹۰۰ | ۸۵۲۲ | ۱۱۲۰۰ | ۶۸۰۰ | ۹۰۰۰ | ۱۱۲۰۰ | ۶۹۵۰ | ۸۱۹۰ | ۹۹۷۰ | ۶۲۰۰ | ۹۰۰۰ | ۹۹۸۰ |
| ۶۲۱۲ | ۹۰۴۱ | ۱۱۰۵۳ | ۶۲۶۷ | ۹۱۶۷ | ۱۱۰۳۳ | ۶۹۴۰ | ۸۱۱۳ | ۹۹۲۰ | ۵۷۳۳ | ۸۷۰۰ | ۹۹۲۷ |

بهره‌وری مصرف آب نیز رقم ۵۰۰ دارای برتری است؛ که این نتایج با گزارش (Dagdalen *et al.* (2006) منطبق می باشد. بر اساس ضریب حساسیت پیشنهادی Tafteh *et al.* (2014a) دو تابع تولید ارائه شده توسط Raes *et al.* (2006) و Tafteh *et al.* (2013) مقدار عملکرد گیاه ذرت در بازه‌های ۱۰ روزه بر اساس پیشنهاد (Tafteh and Ebrahimipak (2018) شبیه‌سازی شد. نتایج به دست آمده در جدول (۵) ارائه شده است. برای تحلیل آماری نتایج به دست آمده از شاخص‌های آماری RMSE، NRMSE، MBE، d و EF استفاده شد که مقادیر هر شاخص در هر یک در شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده است.

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که متوسط عملکرد رقم ۵۰۰ در دو سال ۱۱۰۴۳ کیلوگرم در هکتار و متوسط عملکرد رقم ۳۰۲ در دو سال ۹۹۲۳ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد؛ بنابراین استفاده از رقم ۵۰۰ برای داشتن عملکرد بیشتر قابل توصیه است. آن نتیجه نشان می‌دهد که پتانسیل تولید رقم ۵۰۰ از رقم ۳۰۲ بیشتر است. همچنین در مقابله با تنش آبی نیز مقدار عملکرد رقم ۵۰۰ در تنش ۷۵ درصد بیشتر است ولی در تنش شدید ۵۰ درصد رقم ۳۰۲ عملکرد مناسب‌تر داشته است. از نظر بهره‌وری مصرف آب در این رقم ۳۰۲ به‌طور متوسط ۲/۳۷ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌وری مصرف آب رقم ۵۰۰ به‌طور متوسط ۲/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد؛ بنابراین از نظر

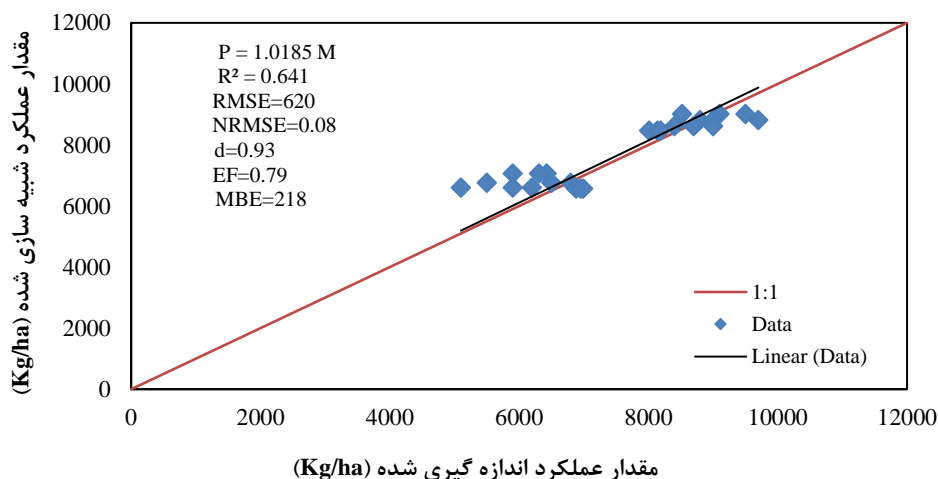
جدول ۵- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد با استفاده از دو روش Raes و Tafteh

| عملکرد شبیه‌سازی شده توسط روش RAES | عملکرد شبیه‌سازی شده توسط روش Tafteh | عملکرد شبیه‌سازی شده توسط روش RAES | عملکرد اندازه‌گیری شده | عملکرد شبیه‌سازی شده توسط روش Tafteh | عملکرد شبیه‌سازی شده توسط روش RAES |
|---------------------------------------|---|---------------------------------------|------------------------|---|---------------------------------------|
| کیلوگرم بر هکتار | کیلوگرم بر هکتار | کیلوگرم بر هکتار | کیلوگرم بر هکتار | کیلوگرم بر هکتار | کیلوگرم بر هکتار |
| ۶۵۷۴ | ۶۱۲۱ | ۶۹۹۰ | ۶۴۲۸ | ۶۵۸۵ | ۶۴۲۸ |
| ۶۵۷۴ | ۶۱۲۱ | ۶۸۸۰ | ۶۳۰۸ | ۶۵۸۵ | ۶۳۰۸ |
| ۶۵۷۴ | ۶۱۲۱ | ۶۹۵۰ | ۵۹۰۰ | ۶۵۸۵ | ۵۹۰۰ |
| ۸۴۷۱ | ۸۲۴۷ | ۸۰۱۰ | ۹۱۰۲ | ۸۷۵۴ | ۸۴۷۱ |
| ۸۴۷۱ | ۸۲۴۷ | ۸۱۴۰ | ۹۵۰۰ | ۸۷۵۴ | ۹۵۰۰ |
| ۸۴۷۱ | ۸۲۴۷ | ۸۱۹۰ | ۸۵۲۲ | ۸۷۵۴ | ۸۵۲۲ |
| ۶۶۰۶ | ۶۰۶۵ | ۵۹۰۰ | ۶۵۰۰ | ۶۲۰۵ | ۶۵۰۰ |
| ۶۶۰۶ | ۶۰۶۵ | ۵۱۰۰ | ۵۵۰۰ | ۶۲۰۵ | ۵۵۰۰ |
| ۶۶۰۶ | ۶۰۶۵ | ۶۲۰۰ | ۶۸۰۰ | ۶۲۰۵ | ۶۸۰۰ |
| ۸۶۱۹ | ۸۳۲۹ | ۸۷۰۰ | ۸۸۰۰ | ۸۵۲۱ | ۸۸۰۰ |
| ۸۶۱۹ | ۸۳۲۹ | ۸۴۰۰ | ۹۷۰۰ | ۸۵۲۱ | ۹۷۰۰ |
| ۸۶۱۹ | ۸۳۲۹ | ۹۰۰۰ | ۹۰۰۰ | ۸۵۲۱ | ۹۰۰۰ |



شکل ۲- مقایسه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای توسط روش Tafteh *et al.* (2013)

سازی شده برابر با ۰/۹۵ است که نشان‌دهنده رابطه بسیار عالی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبه سازی شده می‌باشد. مقدار خطا تابع تولد ذرت برابر با ۵۶۲ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که با توجه به نوع تابع و داده‌ها ورودی عملکرد مناسبی داشته است.



شکل ۳- مقایسه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای توسط روش Raes et al. (2006)

نسبت به روش Raes با ۶۲۰ کیلوگرم در هکتار خطا، داشته است. هر دو تابع نیز حدود ۲۰۰ کیلوگرم انحراف خطادارند که از این نظر مشابه هستند که این نتیجه با گزارش (Ebrahimpak et al. 2020) مطابقت دارد. در مقالات جدید با توجه به پیشرفت معادلات شاخص‌ها سخت‌گیرانه‌تری مانند ضریب EF ارائه شده است که وقتی شاخص‌های RMSE و NRMSE به هم نزدیک بودند بتوان عملکرد دو مدل را بهتر مقایسه نمود. ضریب EF بسیار شاخص مناسبی برای بررسی کارایی مدل‌ها است و همان‌طور که ارائه شده است کارایی روش Raes و Tafteh به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۸۳ بوده است که هر دو مقدار بسیار عالی است و از عملکرد مناسب هر دو حکایت دارد. ولی نشان می‌دهد که روش Tafteh همخوان مناسب‌تری را با داده‌ها اندازه‌گیری شده داشته است. بنابراین برای برنامه‌ریزی و بررسی سناریوهای مختلف آبیاری قابل‌اعتماد هستند و می‌توان از آن‌ها در مدیریت توزیع آب استفاده نمود که این نتایج با گزارش ارائه شده توسط Talarico et al. (2015) و Shirshahi et al. (2020) و Greaves et al. (2017) منطبق می‌باشد.

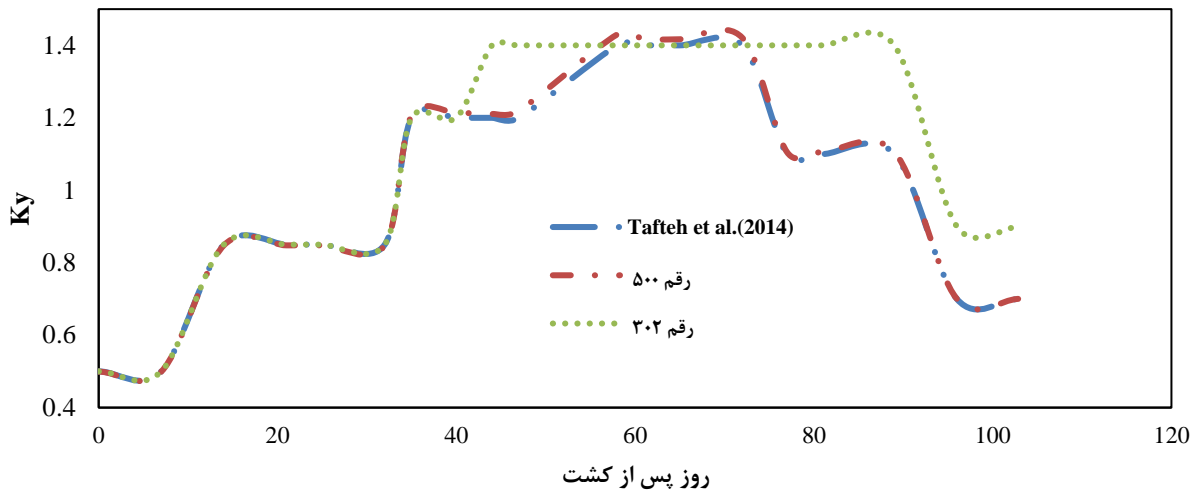
در ادامه بر اساس توابع و نتایج به‌دست‌آمده مقدار ضریب حساسیت از هر دو روش برای هر دو رقم به تفکیک محاسبه شد و نتایج آن در شکل (۴) ارائه شده.

در شکل (۲) نتایج نشان می‌دهد که مقادیر اندازه‌گیری شده و شبه سازی شده نسبت به خط یک‌به‌یک نزدیکی و قرابت مناسبی دارند. مقدار ضرب تبیین ۰/۷۹ نشان‌دهنده رابطه مناسب مقادیر اندازه‌گیری شده و شبه سازی شده است. شاخص توافقی نیز به‌عنوان شاخص اصل توافقی مقادیر اندازه‌گیری شده و شبه

در شکل (۳) نتایج نشان می‌دهد که مقادیر اندازه‌گیری شده و شبه‌سازی شده نسبت به خط یک‌به‌یک نزدیکی و قرابت مناسبی دارند. مقدار ضرب تبیین ۰/۶۴ نشان‌دهنده رابطه مناسب مقادیر اندازه‌گیری شده و شبه سازی شده است ولی در تنش‌های شدید این رابطه کاهش یافته است. شاخص توافقی نیز به‌عنوان شاخص اصل توافقی مقادیر اندازه‌گیری شده و شبه سازی شده برابر با ۰/۹۳ است که نشان‌دهنده رابطه عالی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبه سازی شده می‌باشد. مقدار خطا تابع تولد ذرت برابر با ۶۲۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که نسبت به تابع قبل خطا بیشتر را نشان می‌دهد.

بحث

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده لازم است که دو تابع بر اساس شاخص‌ها ارائه‌شده مورد مقایسه قرار گیرند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که این دو روش با NRMSE ۷ الی ۸ درصد خطا به‌صورت متوسط برآورد مناسبی از تغییرات عملکرد نشان می‌دهند بنابراین ضرایب بومی ارائه‌شده توسط Tafteh et al. (2014a) در شرایط مشابه بسیار کاربردی بوده و توانسته است خطا توابع تولید را کاهش دهد. مقدار RMSE نشان می‌دهد تابع تولید Tafteh با ۵۶۲ کیلوگرم در هکتار خطا، عملکرد بهتری



شکل ۴- مقایسه ضرایب حساسیت به دست‌آمده برای دو رقم ۵۰۰، ۳۰۲ و مقادیر پیشنهاد شده توسط Tafteh et al. (2014a)

عملکرد ذرت رقم ۵۰۰ و ۳۲۰ با هم حدود ۷ الی ۸ درصد خطای نرمال (NRMSE) دارند و بر اساس ضرایب حساسیت پیشنهادی توسط Tafteh et al. (2014a) می‌توان تخمین مناسبی از عملکرد ذرت در شرایط کم‌آبی ارائه نمود. همچنین ارزیابی دو تابع با شاخص کارایی مدل (EF) نشان داد که روش Tafteh کارایی مناسب‌تری در تعیین مقدار عملکرد دانه ذرت دارد. بررسی تفکیک‌شده این دو رقم ۳۰۲ و ۵۰۰ نیز نشان داد که رقم ۳۰۲ دارای عملکرد کم‌تر بوده و در شرایط کم‌آبی ضرایب حساسیت آن به گیاه به‌ویژه در دوره میانی رشد بیشتر از رقم ۵۰۰ است. لذا از این رقم برای شرایط کم‌آبی نمی‌توان استفاده نمود. از طرفی رقم ۵۰۰ نسبت به رقم ۳۰۲ عملکرد بالاتری دارد و در شرایط کم‌آبی ضرایب حساسیت آن کمتر بوده و مقاومت بیشتری در تنش آبی از خود نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان در سناریوهای مختلف کمبود آب با استفاده از توابع تولید با دقت مناسب مقدار عملکرد را تخمین زد و در مدیریت آبیاری و حفظ عملکرد و ارتقا بهره‌وری برنامه‌ریزی نمود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد مقادیر ضریب حساسیت ارائه‌شده در دو رقم متفاوت است و نشان می‌دهد که در دوره میانی رقم ۳۰۲ حساس‌تر از رقم ۵۰۰ بوده و به همین دلیل عملکرد کمتری را نسبت به رقم ۵۰۰ از خود نشان می‌دهد. در صورتی که در دوره ابتدایی واکنش هر دو رقم یکسان می‌باشد ولی از دوره میانی رشد به بعد مقادیر حساسیت هر دو رقم متفاوت شد. لذا با توجه به شرایط ایران و دوره‌های خشکی و مشکلات توزیع آب رقم ۵۰۰ رقم مناسب‌تری است که این نتایج با گزارش Ansari et al. (2006)، Estakhr an dehghanpoor (2010) منطبق است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ضرایب ارائه‌شده توسط Tafteh et al. (2014a) ضرایب مناسبی بوده و برای رقم ۵۰۰ قابل استفاده است ولی برای رقم ۳۰۲ این مقادیر می‌بایست طبق شکل (۴) مورد واسنجی و اصلاح قرار گیرد. البته این رقم برای مناطق خشک و دچار کم‌آبی پیشنهاد نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

بررسی دو تابع تولید Raes و Tafteh نشان داد این توابع در تعیین

REFERENCES

- Ansari, H., Mirlatifi, S.M., and Farshi, A. (2006). The effect of low irrigation on yield and water use efficiency of early maize. *Iranian Journal of Soil Research*, 20(2), 338-348.
- Dagdelen, N., E. Yilmaz, F. Sezgin, and T. Gurbuz. (2006). Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. *Agric. Water Manage.* 82(1), 63-85.
- Doorenbos, J. and A. H. Kassam (1979). "Yield response to Water." irrigation and drainage. Paper No. 33, Food and Agricultural Organization. Rome. Italy.
- Ebrahimipak, N., Tafteh, A., Asadi Kapourchal, S., Egdernezhad, A. (2020). Evaluation of production functions to estimate potato yield in different irrigation treatments. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(6), 1721-1732.
- Ebrahimi Pak, N., Tafteh, A., Babazadeh, H. (2014). Evaluation of Alfalfa crop production functions to determine Alfalfa yields in different level of

- irrigation in Qazvin region. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45(2), 135-145. doi: 10.22059/ijswr.2014.51615.
- Ebrahimipak, N., Tafteh, A. (2017). Determination of yield - water use function for sugar beet in Qazvin. *Journal of Sugar Beet*, 33(1), 63-47. doi: 10.22092/jsb.2017.1319.
- Estakhr, A., Dehghanpour, Z. (2010). Determination of the Suitable Planting Date for New Early Maturity Maize Hybrids in Second Cropping in Temperate Regions in Fars Province. *Seed and Plant Production Journal*, 26(2), 169-191. doi: 10.22092/sppj.2017.110402.
- FAO, (2016). FAO STAT Database - Agricultural production. <http://apps.fao.org>. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Greaves, Geneille & Wang, yu-min. (2017). Yield response, water productivity, and seasonal water production functions for maize under deficit irrigation water management in southern Taiwan. *Plant Production Science*. 1-13. 10.1080/1343943X.2017.1365613.
- Jensen, J.W. (1968). Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski, T. (Ed.), *Water Deficit and Plant Growth*. 2,1-22.
- Jorooni, E., Alinejadian Bidabadi, A., Maleki, A. (2017). Determination of crop water production function and response of total dry matter and grain yield to deficit irrigation in Maize. *Water and Irrigation Management*, 7(2), 241-256. doi: 10.22059/jwim.2017.235685.546
- Moberly JT, Aiken RM, Lin X, Schlegel AJ, Baumhardt RL, Schwartz RC, (2017). Crop water production functions of grain sorghum and winter wheat in Kansas and Texas. *J Contem Water Res Educ* 162: 42-60. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2017.03259.x>
- Panda, R. K., S. K. Behera, and P. S. Kashyap.(2004). Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agric. Water Manage.* 66(3),181-203.
- Raes. D. (2004). Budjet: a soil water and salt balance model. Reference Manual. Version 6.0 (<http://www.iupware.be> and select downloads and next software. last updated June 2004).
- Raes, D., S. Greets., E. Kipkorir., J. Wellens and Sahli, A.(2006). Simulation of yield decline as a result of water stress with a robust soil water balance model. *Agric. Water Manage.* 81,335-357.
- Rao, N. H., Sarma, P. BS. and Chander, S. (1988). A simple dated water production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 13, 25-32.
- Sarayi, M., Parsinejad, M., Liaghat, A.M. and Babazadeh, H. (2012). Determining water requirement and soybean crop coefficients in different growth stages. *Applied Field Crops Research*, 25(4), 112-121.
- Saeidi, R., Sotoodehnia, A., Ramezani Etedali, H., Kaviani, A., Nazari, B. (2018). Study of Effect of water salinity and soil fertility stresses on evapotranspiration of Maize. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(4), 945-954. doi: 10.22059 /ijswr .2018. 247876.667815
- Shirshahi, F., Babazadeh, H., EbrahimiPak, N.A. Khaledian, M. (2020). Sustainable optimization of regional agricultural water use by developing a two-level optimization model. *Arabian Journal of Geosciences*. 10.1007/s12517-020-5175-5, 13, 4.
- Tafteh, A., Babazadeh, H., EbrahimiPak, N.A., and F. Kaveh . (2013). Evaluation and improvement of crop production functions for simulation winter wheat yields with two types of yield response factors. *J.Agric. Sci* 5 (3),111-122.
- Tafteh, A., ebrahimipak, N. (2018). Evaluation of production functions to estimate rapeseed yield in different Interval times. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 7(3), 103-113.
- Tafteh, A., Babazadeh, H., & EbrahimiPak, N. A., & Kaveh, F. (2014a). Determine yield response factors of important crops by different production functions in Qazvin Plain. *Ecology, Environment and Conservation*. 20, 415-422
- Tafteh A, Babazadeh H, EbrahimiPak NA, Kaveh F. (2014b). Optimization of irrigation water distribution using the MGA method and comparison with a linear programming method. *Irrigation and drainage* 63 (5), 590-598.
- Talarico L., Reniers G., Sörensen K., Springael J. (2015). Intelligent Systems in Managerial Decision Making. In: Kahraman C., Çevik Onar S. (eds) *Intelligent Techniques in Engineering Management*. Intelligent Systems Reference Library, vol 87. Springer, Cham.
- Zhao, Funian & WANG, Runyuan & Zhang, Kai & LEI, Jun & Yu, Qiang. (2019). Predicting spring wheat yields based on water use-yield production function in a semi-arid climate. *Spanish Journal Of Agricultural Research*. 17. e1201. 10.5424/sjar/2019172-14699.