

## Investigating the Effect of Basil Planting Date on AquaCrop's Normalized Water Productivity

TAHMINE DEHGHANI<sup>1</sup>, ALI RAHIMIKHOOB<sup>2\*</sup>, MOSTAFA ARAB<sup>3</sup>

1. Master Science student, Department of Irrigation and drainage Engineering, Aburaihan College, University of Tehran, Tehran, Iran
  2. Professor, Department of Irrigation and drainage Engineering, Aburaihan College, University of Tehran, Tehran, Iran
  3. Assistant Professor, Department of Horticulture, Aburaihan College, University of Tehran, Tehran, Iran
- (Received: Feb. 12, 2018- Revised: Apr. 11, 2018- Accepted: May. 12, 2018)

### ABSTRACT

Normalized water productivity is one of the AquaCrop model inputs, which simulates the performance of the biomass. This parameter has been considered to be constant for each crop in Aquacrop model. As the planting date affects the crop yield, this question is raised whether the planting date affects the normalized water productivity parameter or no? The proposed crop was Basil which was planted in summer 2017 in the Field of Abourihan University of Tehran in Pakdasht area at three different times (three treatments T1, T2 and T3) with 10 days intervals. The biomass and normalized water productivity were measured 24 times during the growth period of each treatment. Normalized water productivity for T1, T2 and T3 treatments were estimated 11.2, 13.7 and 13.9 g/m<sup>2</sup>, respectively. The coefficient of determination and the root mean square error were determined to be 0.99 and less than 14% respectively, using validation data. The difference among the above numbers indicates that the planting date is effective on the amount of normalized water productivity.

**Keywords:** Biomass, Crop yield, Pakdasht, Water productivity

## بررسی اثر تاریخ کشت گیاه ریحان بر روی بهره‌وری آب نرمال شده در مدل آکواکراپ

تهمینه دهقانی<sup>۱</sup>، علی رحیمی خوب<sup>۲\*</sup>، مصطفی عرب<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. استاد، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. استادیار، گروه باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۲۲)

### چکیده

پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده یکی از ورودی‌های مدل آکواکراپ است که بر اساس آن عملکرد زیست‌توده شبیه‌سازی می‌شود. این پارامتر در مدل آکواکراپ برای هر گیاه ثابت فرض شده است. از آنجائی که تاریخ کشت بر روی عملکرد محصول مؤثر می‌باشد، لذا این سؤال در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت که آیا تاریخ کاشت گیاه بر پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده مؤثر است یا خیر؟ گیاه مورد مطالعه ریحان بود که در تابستان سال ۱۳۹۶ در مزرعه کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در منطقه پاکدشت در سه زمان مختلف (سه تیمار T1، T2 و T3) به فاصله ۱۰ روز از هم کاشته شد. در طی دوره رشد هر تیمار، ۲۴ بار زیست‌توده اندازه‌گیری و پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده برآورد شد. بهره‌وری آب نرمال شده برای تیمار T1، T2 و T3 به ترتیب برابر ۱۱/۲، ۱۳/۷ و ۱۳/۹ گرم بر مترمربع برآورد شد. ضریب تعیین و میانگین جذر مربعات خطا با استفاده از داده‌های صحت سنجی به ترتیب حدود ۰/۹۹ و کمتر از ۱۴ درصد تعیین شد. تفاوت در اعداد فوق نشان می‌دهد که تاریخ کاشت بر روی مقدار بهره‌وری آب نرمال شده مؤثر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، عملکرد محصول، زیست‌توده، پاکدشت

### مقدمه

از جمله چالش‌هایی که جهان، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک با آن روبه‌روست، نبود آب کافی برای مصارف کشاورزی می‌باشد. تحقیقات نشان داده برای مقابله با کمبود آب، گزینه کم آبیاری راهکار مناسبی می‌باشد (Geerts and Raes, 2009). کم آبیاری، انتخاب یک راهبرد بهینه و برتر برای استفاده از آب و تولید محصول تحت شرایط کمبود آب و یا بالا بودن قیمت آب است (Mashal et al., 2009). به عبارتی کم آبیاری یک راهبرد بهینه‌سازی است که در آن آگاهانه به گیاهان اجازه داده می‌شود با دریافت آب کمتر از نیازشان، محصول خود را کاهش دهند (English, 1990). در این شرایط هدف اصلی بایستی متمرکز بر افزایش تولید به ازای واحد آب مصرفی و استفاده بهینه از منابع آب باشد (English, 1990). برای تعیین مقدار کم آبیاری باید برای هر محصول و هر منطقه سناریوهای مختلف کم آبیاری را بررسی نموده و بهترین سناریو که بیشترین بهره‌وری را ایجاد می‌کند انتخاب شود. از آنجاکه اجرای این سناریوها کاری پرهزینه و زمان‌بر است، از مدل‌های رشد گیاه و پیش‌بینی عملکرد استفاده می‌شود. مدل‌های زیادی برای

بررسی اثر کم آبیاری بر روی عملکرد محصول ارائه شده است، از جمله می‌توان به مدل‌های CROPWAT، BUDGET، SWAP، CERES، CROPSYST و WOFOST اشاره کرد (Todorovic et al., 2009). پیچیدگی این مدل‌ها به دلیل نیاز به داده‌های ورودی زیاد و همچنین دامنه وسیع تغییر پارامترهای ورودی و نیاز به یک کاربر ماهر باعث شد تا مدل آکواکراپ<sup>۱</sup> توسط نشریه بازنگری شده ۳۳ فائو ارائه شود (Raes et al., 2009b, Steduto et al., 2009). تاکنون پژوهش‌های گوناگونی در رابطه با صحت-سنجی و واسنجی برخی از پارامترهای مدل آکواکراپ برای محصولات مختلف در مناطق مختلف جهان انجام شده است (Karimi-Avargani et al., 2016). این مدل یک ابزار قدرتمند و باارزش برای بهبود مدیریت کم آبیاری در مزرعه و تعیین بهترین مقدار بهره‌وری آب می‌باشد (Steduto et al., 2009). سادگی، نیاز به حداقل داده ورودی و دقت قابل‌قبول مدل از مزایای استفاده از این مدل می‌باشد (Babazadeh and Sarai Tabrizi, 2012). همچنین مدل آکواکراپ یک ابزار قابل‌اعتماد و مفید برای شبیه‌سازی تاج پوشش گیاهی و تعرق گیاه در مقیاس روزانه و شبیه‌سازی زیست‌توده و عملکرد با دقت بالا در

کاشته می‌شود. بررسی منابع نشان می‌دهد تاکنون مقدار پارامتر بهره‌وری آب بر روی محصول ریحان تعیین نشده است. لذا در این پژوهش دو موضوع جدید مورد بررسی قرار گرفته است. یکی تعیین پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده برای گیاه ریحان و دومی بررسی اثر زمان کاشت گیاه بر روی این پارامتر می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### مشخصات محل آزمایش

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران در منطقه پاکدشت واقع در جنوب شرق شهر تهران، بر روی گیاه ریحان سبزی، رقم معمولی در تابستان سال ۱۳۹۶ انجام شد. در این منطقه میانگین بارندگی سالانه ۱۴۱ میلی‌متر، دمای متوسط سالانه ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد و تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET<sub>0</sub>) سالانه ۱۳۹۰ میلی‌متر است. این مزرعه در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۰۲۷ متر واقع است. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب محل آزمایش در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است. مزرعه پردیس ابوریحان مجهز به یک ایستگاه هواشناسی بوده که در آن پارامترهای روزانه هواشناسی شامل دمای بیشینه و کمینه هوا، رطوبت هوا، ساعات آفتابی و سرعت باد اندازه‌گیری می‌شود. در این پژوهش، داده‌های این ایستگاه برای تعیین تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET<sub>0</sub>) با استفاده از روش پنمن مانیتیت فائو (Allen *et al.*, 1998) مورد استفاده قرار گرفت.

پایان فصل رشد است (Mousavizadeh *et al.*, 2016).

یکی از پارامترهای مهمی که به‌عنوان داده ورودی در مدل آکواکراپ استفاده می‌شود پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده است. این پارامتر طبق فرضیات مدل برای هر گیاه ثابت است (Steduto *et al.*, 2009) و مقدار آن برای بسیاری از گیاهان توسط کارشناسان فائو ارائه شده است (Raes *et al.*, 2009a). این پارامتر عملکرد روزانه زیست‌توده در واحد سطح در شرایط پوشش گیاهی ۱۰۰ درصد و بدون محدودیت آب و حاصلخیزی می‌باشد (Steduto *et al.*, 2007, 2009). مقدار این پارامتر برای گیاهان کربن ۳ (C3) مثل جو بین ۱۳ تا ۱۵ گرم بر مترمربع در روز و برای گیاهان کربن ۴ (C4) مثل سورگوم بین ۲۶ تا ۳۵ گرم بر مترمربع در روز تغییر می‌کند (Steduto *et al.*, 2007, 2009). پژوهش‌های زیادی اثر زمان کاشت بر روی عملکرد محصول را بررسی کرده‌اند، طبق نتایج به‌دست‌آمده، زمان کاشت بر روی عملکرد محصول مؤثر است (Vega, 2002; Auld *et al.*, 1988; Gower *et al.*, 2002; Nafziger, 1994; Gormus and Yucel, 2002; Ghanbari *et al.*, 2013; Dadkhah *et al.*, 2009; Kafi *et al.*, 2008). لذا از آنجائی که زمان کاشت بر روی عملکرد تأثیرگذار است، از این رو بنظر می‌رسد پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده با تغییر زمان کاشت بذری تغییر یابد. لذا سؤال پژوهش این است که آیا زمان کاشت بر روی پارامتر بهره‌وری نرمال شده آب مؤثر است؟

بررسی منابع نشان می‌دهد تاکنون اثر زمان کاشت بذری بر روی پارامتر فوق بررسی نشده است. گیاه مورد مطالعه این پژوهش ریحان می‌باشد. این گیاه به دلیل خواص درمانی از قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین سبزی‌ها است و در اکثر نقاط دنیا

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

EC (ds/m)	رطوبت اشباع (درصد)	جرم مخصوص خشک (gr/cm <sup>3</sup> )	رطوبت نقطه پژمردگی (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	رطوبت ظرفیت مزرعه (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	بافت خاک	ضخامت لایه (m)
۳/۳	۴۴/۶۴	۱/۳۶	۸/۳۷	۱۸/۱۲	Silt loam	۰/۲

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب

EC (ds/m)	pH	Na (meq/lit)	Ca+Mg (meq/lit)	پارامتر مقدار
۱/۱	۷/۲	۲/۹	۱۶	

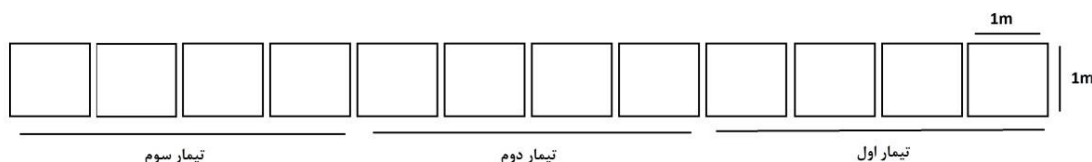
تابستان ۱۳۹۶ کاشته شد. فاصله زمانی بین کاشت تیمارها ۱۰ روز بود. تقویم و دوره رشد تیمارها در جدول (۳) ارائه شده است. وضعیت کلی مزرعه به همراه تیمارها در شکل (۱) ملاحظه می‌شود.

### آزمایش مزرعه‌ای

به‌منظور بررسی اثر زمان کاشت محصول بر روی پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده، گیاه ریحان بدون تنش آبی در سه تیمار T1، T2 و T3 و با چهار تکرار که تاریخ کاشت عامل تغییر بود، در

جدول ۳- تقویم رشد و مقدار آب کاربردی تیمارها

شماره تیمار	زمان کاشت در زمین اصلی	زمان رسیدگی کامل (روز)	مقدار آب کاربردی (mm)	طول دوره رشد (روز)
T1	۱۳۹۶/۴/۲۰	۴۸	۵۶۲	۷۲
T2	۱۳۹۶/۴/۳۰	۴۵	۵۸۲	۷۲
T3	۱۳۹۶/۵/۱۰	۴۰	۶۸۳	۷۲



شکل ۱- مزرعه آزمایشی و آرایش تیمارها

لازمی که وزنشان به وزن ظرفیت مزرعه برسد، آب داده می‌شد. ارتفاع آب مصرفی کرت‌ها در هر تیمار، از تقسیم میانگین حجم آب داده شده به کرت بر سطح مقطع کرت بدست می‌آمد. برای اینکه اطمینان حاصل شود که کرت‌های آزمایشی حداقل آب لازم را بدون تنش آبی دریافت کرده باشند و همچنین مقداری آب از ناحیه رشد ریشه خارج شود تا تجمع املاح در دوره کشت اتفاق نیفتد، ارتفاع آبی که روزانه به کرت‌های آزمایشی داده می‌شد به مقدار ۱۰ درصد بیشتر از ارتفاع آب مصرفی کرت‌ها بود. حجم آب آبیاری بر اساس ارتفاع آب و مساحت کرت تعیین و میزان آب لازم با استفاده از آبیاری مدرج شده در هر کرت ریخته می‌شد. مقادیر آب کاربردی هر تیمار در جدول (۳) ارائه شده است. نیتروژن مورد نیاز با استفاده از کود اوره تامین شد و مقدار و زمان کوددهی بقدر کفایت به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به کرت‌ها داده شد. عملیات کوددهی به صورت سرک و طی سه نوبت در زمان‌های ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز بعد از کشت انجام شد.

نمونه‌های گیاهی برای اندازه‌گیری عملکرد ماده خشک (زیست‌توده)، در فاصله کاشت بذر تا انتهای فصل کشت به صورت دو روز در میان برداشت شدند. پنج گیاه در هر مرحله

ابعاد کرت‌ها ۱ متر در ۱ متر بود. فاصله بین هر گیاه در ردیف کاشت و فواصل ردیف‌ها به ترتیب ۱۶ و ۱۴ سانتی‌متر بود. آبیاری کرت‌ها با دور آبیاری دو روز انجام می‌شد و برای تعیین مقدار آب که تنش آبی به گیاه وارد نشود، از مقادیر مصرف آب در گلدان‌های تحت کشت ریحان استفاده شد. به صورتی که گیاه ریحان در گلدان‌هایی همزمان با شروع کشت هر تیمار کاشته شد. تعداد گلدان برای هر تیمار ۳ عدد بود و قطر بالا و پایین گلدان و ارتفاع آن به ترتیب ۱۲، ۹ و ۱۱ سانتی‌متر بود. کمبود رطوبت خاک هر گلدان نسبت به رطوبت ظرفیت مزرعه، معرف مقدار تبخیر و تعرق گیاه در گلدان در نظر گرفته شد. در واقع در این تحقیق از گلدان‌ها به عنوان لایسیمتر وزنی استفاده شد. آماده‌سازی گلدان‌ها به این صورت بود که در ابتدا با خاک مزرعه پر شدند و رطوبت خاک درون گلدان‌ها با آب زیاد به حد اشباع رسانده شد و سپس سطح آنها با پوشش ورق فویل پوشانده شدند. پس از گذشت ۳ روز که اطمینان حاصل شد که آب ثقلی از گلدان‌ها خارج شده، گلدان‌ها توزین شدند و وزن گلدان‌های محتوی خاک در این حالت معرف وزن رطوبت ظرفیت مزرعه فرض شد. زمان وزن‌گیری گلدان‌ها روزانه حدود ساعت ۸ صبح بود و به گلدان‌ها به مقدار

پوشش گیاه در روز است. پوشش گیاه در طول دوره مرحله آخر که در آن شیب پوشش گیاهی به صورت نزولی است، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$CC = CC_x \times \{1 - 0.05 \times [e^{\frac{CDC}{CC_x} \times t} - 1]\} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن CDC نرخ کاهش پوشش گیاهی و t زمان بر حسب روز که از مرحله چهارم رویش (پیری) شروع می‌شود. داده‌های گیاهی لازم برای اجرای مدل AquaCrop شامل درصد پوشش گیاهی در شروع مرحله جوانه‌زنی ( $CC_0$ )، نرخ رشد پوشش گیاهی در مرحله توسعه (CGC)، حداکثر پوشش گیاه ( $CC_x$ ) و نرخ کاهش پوشش گیاه در مرحله پیری (CDC) می‌باشند که برای تعیین این پارامترها، درصد پوشش گیاه در طول دوره رشد با استفاده از روش (Patrignani and Ochsner, 2015) اندازه‌گیری شد. به این منظور از سطح کرت عکس گرفته شد و با انتقال عکس به نرم‌افزار کانوپی<sup>۱</sup>، درصد پوشش گیاه محاسبه شد. برای گرفتن عکس‌ها، دوربین در ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر بالاتر از تاج پوشش گیاه و به‌طور موازی با سطح زمین قرار داده می‌شد. سه نمونه از عکس‌های قبل و بعد از پردازش در نرم‌افزار کانوپی در شکل (۱) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، درصد پوشش گیاهی زمین برای تیمار سوم در روزهای ۱۱، ۲۵ و ۴۲ پس از کاشت به ترتیب، ۲۵، ۵۷ و ۹۸ درصد اندازه‌گیری شده است.

طول دوره‌های مختلف رشد محصول ریحان همراه با عملیات کشاورزی و آبیاری یادداشت‌برداری و ثبت شد. مجموعه پارامترهای اندازه‌گیری شده و مشاهده‌شده از مراحل مختلف رشد که به‌عنوان ورودی به مدل آکواکراپ وارد شدند در جدول (۴) ارائه شده است.

#### بهره‌وری آب نرمال شده

در این پژوهش برای به‌دست آوردن پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده از روش (Steduto et al., 2009) استفاده شد. در این روش پراکنش داده‌های تجمعی تعرق نرمال شده ( $\sum \frac{Tr}{ET_0}$ ) و زیست-توده تجمعی رسم شده و بهره‌وری آب نرمال شده برابر با ضریب بهترین خطی است که از مبدأ مختصات به نقاط برازش داده می‌شود. تعرق نرمال شده، نسبت تعرق گیاه (Tr) به تبخیر-تعرق مرجع ( $ET_0$ ) می‌باشد. به‌منظور انتخاب بهترین مقدار بهره‌وری آب نرمال شده، از شاخص‌های آماری ضریب تبیین<sup>۲</sup> ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۳</sup> (RMSE) و میانگین خطای

نمونه‌برداری از ردیف‌های میانی هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و از سطح خاک بریده شده و بعد از انتقال به آزمایشگاه در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. فرآیند خشک شدن در آون تا ثابت شدن وزن نمونه‌ها ادامه داشت.

#### مدل آکواکراپ

در این تحقیق از نسخه ۶ مدل آکواکراپ استفاده شد. اساس کار و محاسبه مقدار زیست‌توده در مدل آکواکراپ بر روی رابطه زیر استوار می‌باشد:

$$B = WP^* \left( \sum \frac{Tr_i}{ET_{0,i}} \right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه فوق، B عملکرد زیست‌توده تا i امین روز پس از کاشت (گرم بر مترمربع)،  $WP^*$  بهره‌وری آب نرمال شده (گرم بر مترمربع)،  $Tr_i$  تعرق تجمعی گیاه تا i امین روز پس از کاشت (میلی‌متر) و  $ET_{0,i}$  تبخیر و تعرق مرجع تا i امین روز پس از کاشت (میلی‌متر) می‌باشد. با توجه به اینکه گیاه ریحان در لیست گیاهان این مدل نمی‌باشد، بنابراین مقداری برای پارامتر  $WP^*$  گیاه ریحان در این نرم‌افزار توصیه نشده است. اما مقدار  $WP^*$  در مدل آکواکراپ برای گیاهان C3، ۱۵-۲۰ گرم بر مترمربع توصیه شده است و در این پژوهش مورد واسنجی قرار می‌گیرد. عامل تعرق گیاه در مدل آکواکراپ از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Steduto et al., 2009):

$$Tr = K_s \times K_C \times CC \times ET_0 \quad (\text{رابطه ۲})$$

در رابطه فوق،  $K_s$  ضریب تنش آبی،  $K_C$  ضریب گیاهی، CC ضریب پوشش گیاهی و  $ET_0$  تبخیر و تعرق مرجع (mm) می‌باشند. در این پژوهش، برنامه آبیاری به‌صورتی بوده که گیاه تحت تنش آبی قرار نگیرد، لذا ضریب  $K_s$  برابر با یک در نظر گرفته شد. ضریب گیاهی  $K_C$  نسبت بین تبخیر و تعرق گیاه بدون تنش آبی به تبخیر و تعرق مرجع است. این ضریب در مدل آکواکراپ با استفاده از روش ارائه‌شده در نشریه شماره ۵۶ فائو (Allen et al., 1998) در طول دوره رشد برآورد می‌شود. ضریب پوشش گیاهی در مدل آکواکراپ از زمان کاشت بذر تا پایان مرحله توسعه با استفاده از دو معادله زیر برآورد می‌شود (Steduto et al., 2009):

$$CC = CC_0 \times e^{(CGC \times t)} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$CC = CC_x - [CC_x - CC_0 \times e^{(-CGC \times t)}] \quad (\text{رابطه ۴})$$

معادله (۳) برای دوره زمانی کاشت بذر تا نیمه مرحله توسعه استفاده می‌شود و معادله (۴) برای دوره زمانی از نیمه مرحله توسعه تا آخر مرحله توسعه است. در معادلات فوق، CC پوشش گیاهی در t روز پس از کاشت،  $CC_x$  حداکثر پوشش گیاهی،  $CC_0$  پوشش اولیه گیاه در زمان  $t=0$  و CGC نرخ رشد

1. Canopeo  
2. Determination Coefficient  
3. Root Mean Square Error

که در آنها،  $P_i$  مقادیر برآورد شده مدل،  $\bar{P}$  متوسط مقادیر برآورد شده مدل،  $O_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده،  $\bar{O}$  متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده و  $N$  تعداد مشاهدات می‌باشند. میانگین خطای اریب میزان خطا را با بیش‌برآورد و یا کم‌برآورد نشان می‌دهد. در صورتی که این شاخص مثبت باشد نشان می‌دهد که در مجموع نتایج مدل بیشتر از مقادیر واقعی است. در این پژوهش در طی روزهای مختلف از کاشت تا برداشت نهایی محصول، ۲۴ بار زیست‌توده اندازه‌گیری شد لذا برای هر تیمار ۲۴ داده در اختیار بود. تعداد ۱۶ داده در هر تیمار برای برآورد بهره‌وری نرمال شده و تعداد ۸ داده باقیمانده برای صحت‌سنجی استفاده شدند.

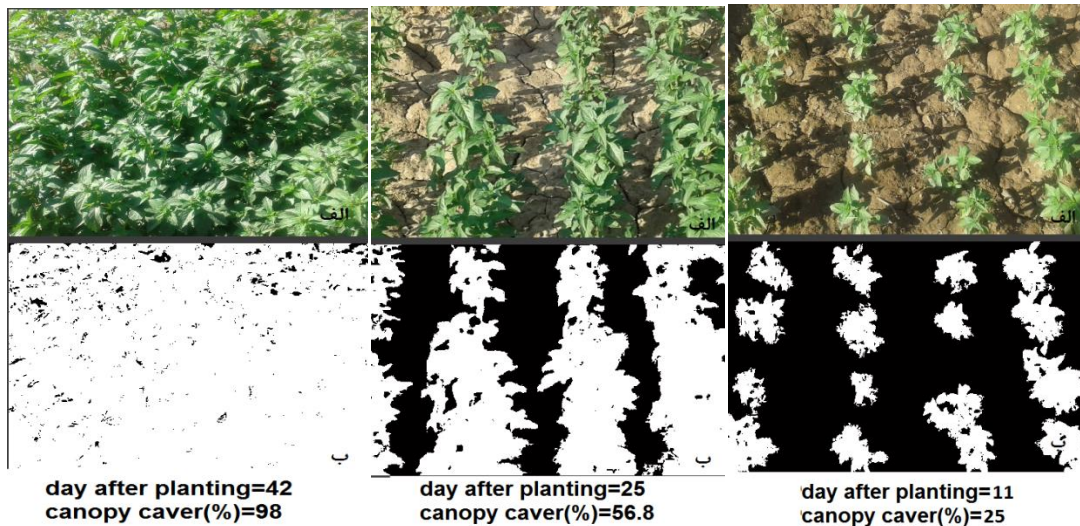
اریب<sup>۱</sup> (MBE) استفاده شده است. معادلات این شاخص‌ها به شرح زیر می‌باشند:

$$R^2 = \frac{[\sum(P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum(P_i - \bar{P})^2 \sum(O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$RMSE = \left[ N^{-1} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2 \right]^{0.5} \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N} \quad (\text{رابطه ۸})$$

### 1. Mean Bias Error



شکل ۱- تصاویر تاج‌پوشش ریحان برای تیمار سوم در سه تاریخ مختلف، الف- تصویر برداشت‌شده توسط دوربین ب- تصاویر پردازش‌شده توسط نرم‌افزار کانوپی

جدول ۴- مقادیر پارامترهای ورودی به مدل AcuaCrop

تیمار			واحد	پارامتر
T3	T2	T1		
۵	۷	۱۰	روز پس از کاشت	زمان جوانه‌زنی
۹	۷	۵	درصد	پوشش سطح اولیه (CC <sub>0</sub> )
۱۰۰	۷۴	۶۰	درصد	حداکثر پوشش گیاه (CC <sub>∞</sub> )
۱۱/۷	۱۰/۹	۹/۳	درصد بر روز	نرخ رشد پوشش گیاهی (CGC)
۸	۸	۸	درصد بر روز	نرخ کاهش پوشش گیاه (CDC)
۴۲	۴۵	۵۲	روز پس از کاشت	زمان رسیدن به حداکثر پوشش گیاه
۳۶	۴۰	۴۶	روز پس از کاشت	زمان گلدهی
۳۰	۳۵	۴۰	روز پس از کاشت	زمان رسیدگی کامل (برداشت محصول)

مربوط به تیمار سوم (T3) و کمترین عملکرد مربوط به تیمار اول (T1) می‌باشد. عملکرد نهایی زیست‌توده در انتهای فصل رشد (۷۰ روز پس از کاشت) در تیمارهای اول تا سوم به ترتیب ۴۹۱، ۷۱۳ و ۷۹۸ گرم بر مترمربع می‌باشد.

### نتایج و بحث

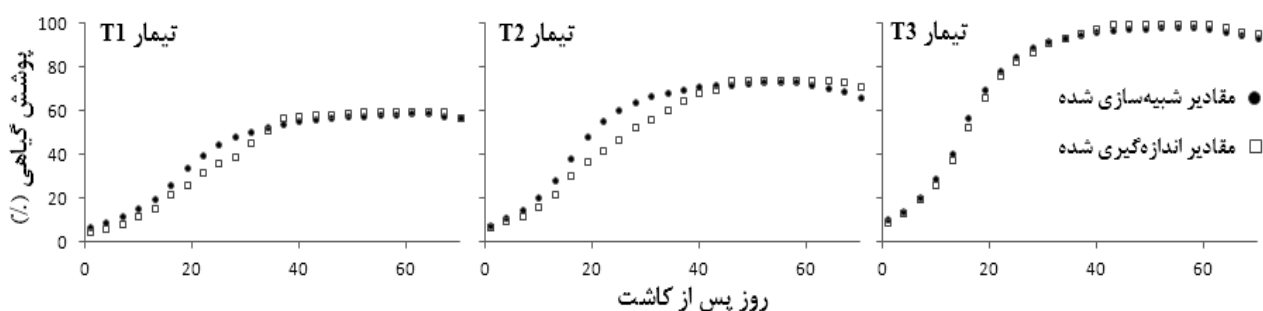
نتایج عملکرد زیست‌توده اندازه‌گیری شده در طی دوره رشد در ۳ تیمار این تحقیق به تفکیک داده‌های واسنجی و آزمون در جدول (۵) ارائه شده است. این نتایج به‌عنوان مقادیر اندازه‌گیری شده ( $O_i$ ) استفاده شدند. ملاحظه می‌شود، بیشترین عملکرد

جدول ۵- نتایج عملکرد زیست توده اندازه‌گیری شده (گرم بر مترمربع) در ۳ تیمار به تفکیک داده‌های واسنجی و صحت‌سنجی

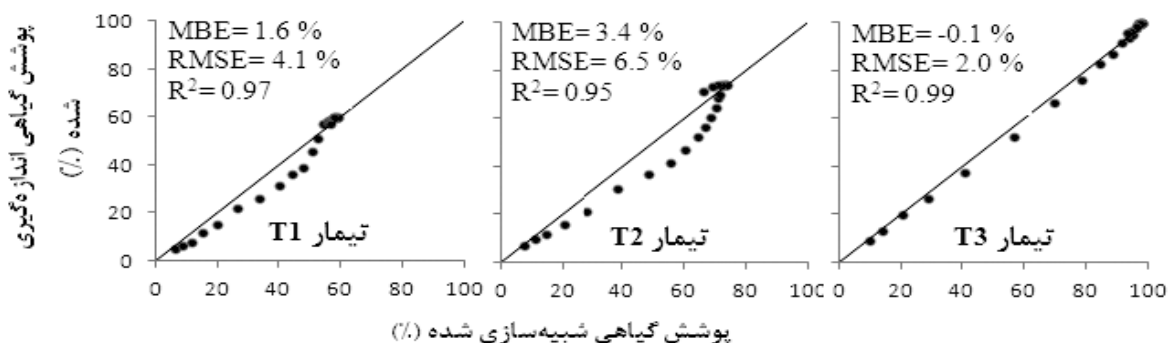
داده‌های صحت‌سنجی				داده‌های واسنجی			
تیمار			روز پس از کاشت	تیمار			روز پس از کاشت
T3	T2	T1		T3	T2	T1	
۲۹/۹	۱۰/۵	۰/۷۵	۷	۳/۹	۲/۶	۰/۱	۱
۱۳۵/۵	۳۱/۹	۷/۰۶	۱۶	۱۶/۵	۴/۱	۰/۲	۴
۲۴۲/۸	۱۰۱/۱	۷۵/۱	۲۵	۴۸/۴	۱۹/۸	۱/۰۵	۱۰
۳۵۵/۹	۲۰۲/۱	۱۵۱/۲	۳۴	۸۱/۲	۳۱/۹	۴/۸۹	۱۳
۴۶۸/۸	۳۳۶/۶	۲۱۰/۳	۴۳	۱۵۲/۶	۴۵/۶	۱۲/۹	۱۹
۵۶۵/۶	۴۵۸/۴	۳۰۱/۵	۵۲	۱۹۵/۵	۶۴/۴	۵۰/۱	۲۲
۶۹۷/۴	۶۳۸/۵	۴۰۱/۲	۶۱	۲۹۵/۹	۱۳۲/۵	۹۳/۵	۲۸
۷۹۸/۱	۷۱۳/۱	۴۹۱/۱	۷۰	۳۲۶/۵	۱۶۵/۷	۱۳۱/۱	۳۱
				۳۹۲/۹	۲۳۷/۵	۱۸۷/۱	۳۷
				۴۱۳/۴	۲۷۵/۴	۱۹۰/۴	۴۰
				۴۸۷/۸	۳۷۵/۸	۲۶۲/۳	۴۶
				۵۱۹/۹	۴۲۵/۹	۲۷۵/۵	۴۹
				۶۲۱/۳	۵۱۱/۲	۳۴۰/۹	۵۵
				۶۵۸/۸	۵۸۲/۱	۳۷۱/۱	۵۸
				۷۲۷/۹	۶۶۴/۵	۴۳۶/۱	۶۴
				۷۵۱/۵	۶۹۸/۵	۴۵۲/۴	۶۷

شبیه‌سازی در تیمارهای مختلف به همراه شاخص‌های آماری در شکل (۳) ارائه شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود پراکنش نقاط در تیمار سوم (T3) خیلی نزدیک به خط ۱:۱ است. ضریب تعیین نیز نزدیک به ۱ و مقادیر خطا ناچیز است که نشان می‌دهد مدل با دقت بالایی پوشش گیاهی را شبیه‌سازی می‌کند. نتایج برای دو تیمار دیگر (T1 و T2) نیز دقت خوبی دارد. ضریب تعیین و خطا در دو تیمار T1 و T2 برترتیب بالای ۰/۹۵ و کمتر از ۶ درصد است و لذا مدل در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، نتایج دقت خوبی دارد. با توجه به نتایج قابل قبول پوشش گیاهی، نتایج تعرق برآورد شده در مدل آکواکراپ برای تعیین بهره‌وری نرمال شده (معادله ۱) مورد استفاده قرار گرفت.

از آنجایی که در مدل آکواکراپ پوشش گیاهی یکی از عوامل مهم برای برآورد تعرق گیاه است (معادله ۲) و تعرق نیز پارامتری است که (Steduto et al., 2009) برای تعیین بهره‌وری نرمال شده استفاده می‌شود، لذا پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده در مدل آکواکراپ با مقادیر اندازه‌گیری شده مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل (۲) تغییرات پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در طی دوره رشد گیاه ریحان در تیمارهای مختلف ارائه شده است. ملاحظه می‌شود روند تغییرات پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده مشابهت نزدیکی دارند، بخصوص اینکه انطباق در انتهای دوره رشد بیشتر می‌شود. این تشابه در تیمار سوم در طی دوره رشد بسیار نزدیک بهم هست. پراکنش مقادیر پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده و



شکل ۲- تغییرات پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در طی دوره رشد در تیمارهای مختلف

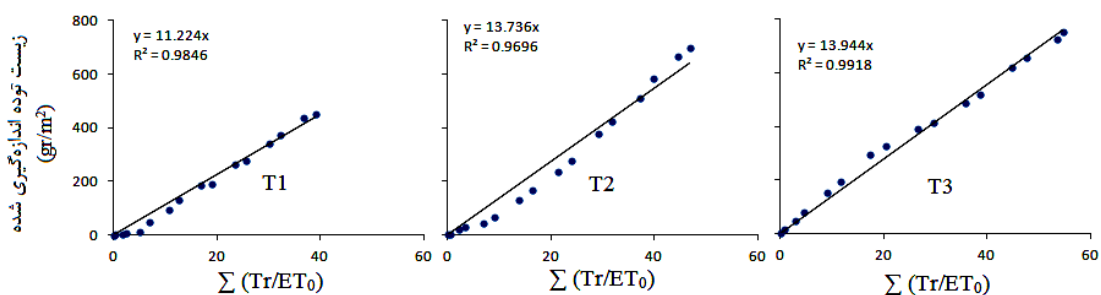


شکل ۳- پراکنش مقادیر پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در طی دوره رشد در تیمارهای مختلف

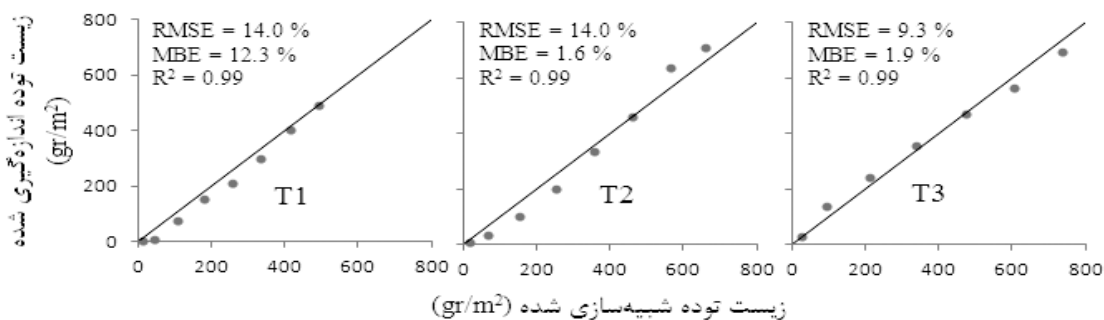
حاصل می‌شود.

برای صحت سنجی بهره‌وری آب نرمال شده بدست آمده در تیمارهای مختلف، مدل آکواکراپ جداگانه برای هر تیمار اجرا شد و نتایج عملکرد زیست توده برای روزهایی که مربوط به داده‌های صحت سنجی است استخراج و با مقادیر اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت. در شکل (۵) پراکنش مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای داده‌های صحت سنجی ارائه شده است. ملاحظه می‌شود، نقاط برای هر سه تیمار با دقت نسبتاً خوبی بر روی بهترین خط انطباق (۱:۱) قرار دارند و ضریب تبیین حدود ۰/۹۹ می‌باشد. بیشترین دقت را تیمار T3 با ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب به ترتیب برابر ۹/۳ و ۱/۹ درصد دارد. در مجموع مقادیر شاخص‌های آماری مندرج بر روی شکل نشان می‌دهد پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده در تیمارهای مختلف از دقت لازم برخوردارند.

همانطور که در مواد و روش‌ها ذکر شد، برای تعیین پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده با استفاده از روش (Steduto *et al.*, 2009)، پراکنش داده‌های نسبت تجمعی تعرق گیاه به تبخیر-تعرق مرجع  $(\sum \frac{Tr}{ET_0})$  در مقابل زیست‌توده تجمعی رسم شد و ضریب زاویه بهترین خط برازش شده به نقاط به عنوان پارامتر مذکور تعیین گردید. با استفاده از داده‌های واسنجی، پراکنش داده‌های نسبت تجمعی تعرق گیاه به تبخیر-تعرق مرجع و زیست‌توده تجمعی برای تیمارهای مختلف ترسیم شد که در شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به معادلات مندرج در شکل (۴) بهره‌وری آب نرمال شده (ضریب معادله خطی) در تیمارهای T1، T2 و T3 به ترتیب برابر ۱۱/۲، ۱۳/۷ و ۱۳/۹ گرم بر متر مربع می‌باشد. لذا با توجه به تفاوت مقادیر پارامتر بهره‌وری نرمال شده در تیمارهای مختلف تاریخ کاشت می‌توان نتیجه گرفت که این پارامتر بستگی به تاریخ کاشت دارد و اگر در تاریخ مناسب کشت شود بیشترین مقدار بهره‌وری نرمال شده



شکل ۴- رابطه بین عملکرد زیست‌توده و تعرق نرمال شده برای داده‌های واسنجی



شکل ۵- پراکنش زیست‌توده اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای داده‌های صحت‌سنجی در تیمارهای مختلف



در این پژوهش برای گیاه ریحان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که این پارامتر بستگی به تاریخ کاشت دارد و مقدار بهره‌وری آب نرمال شده ثابت نیست. مقدار بهره‌وری آب نرمال شده ریحان برای سه تاریخ کاشت مختلف ۲۰ تیر، ۳۰ تیر و ۱۰ مرداد بترتیب ۱۱/۲، ۱۳/۷ و ۱۳/۹ گرم بر مترمربع برآورد شد.

## نتیجه‌گیری کلی

بهره‌وری آب نرمال شده یکی از پارامترهای مهم در مدل آکواکراپ برای شبیه‌سازی زیست‌توده است. بنا بر فرضیات مدل آکواکراپ این پارامتر برای هر گیاه ثابت فرض شده است. با توجه به اثر تاریخ کاشت بر روی عملکرد محصول، فرضیه فوق

## REFERENCES

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. FAO, Rome.
- Auld, D. L., Bettis, B. L., Crock, J. E. and Kephart, K. D. (1988). Planting date and temperature effects on germination, emergence, and seed yield of chickpea. *Agronomy Journal*, 80(6), 909-914.
- Babazadeh, H. and Sarai Tabrizi, M. (2012). Assessment of AquaCrop Model under Soybean Deficit Irrigation Management Conditions. *Journal of Water and Soil*, 26(2), 329-339. (In Farsi)
- Dadkhah, A., Kafi, M. and Rasam, Gh. (2009). The effect of planting date and plant density on growth traits, yield quality and quantity of Matricaria (*Matricaria chamomilla*). *Journal of Horticultural Sciences*, 23(2), 100-107. (In Persian)
- English, M. (1990). Deficit irrigation. I: Analytical framework. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 116, 399-412
- Ghanbari, A., Roshani, H. and tavasoli, A. (2013). Effect of Planting Date on Some Agronomic Characteristics and Grain Yield of Winter Wheat Cultivars. *Journal of crop ecophysiology (agriculture science)*, 2(22), 127-144. (In Persian)
- Gormus, O. and Yucel, C. (2002). Different planting date and potassium fertility effects on cotton yield and fiber properties in the Cukurova region, Turkey. *Field Crops Research*, 78(2), 141-149.
- Gower, S. A., Loux, M. M., Cardina, J. and Harrison, S. K. (2002). Effect of Planting Date, Residual Herbicide, and Postemergence Application Timing on Weed Control and Grain Yield in Glyphosate-Tolerant Corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, 16(3), 488-494.
- Geerts, S. and Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, 96(9), 1275-1284
- Kafi, M., Rezvan Beidokhti, Sh. and Sanjani, S. (2008). The effect of planting date and density on yield and morpho-physiological characteristics of Shallot (*Allium altissimum* Regel) in Mashhad. *Journal of Horticultural Science*, 25(3): 310-319. (In Farsi)
- Karimi Avargani, H., Rahimikhob, A. and Nazarifar, M. (2016). Calibration and Validation of AquaCrop Model for Barley in Pakdasht Region – Iran. *Journal of Soil and Water Research*, 47(3), 539-549. (In Farsi)
- Mashal, M., Varavypour, M., Sadatnouri, S. and Zare Zirak, E. (2009). Optimizing Consumptive Water depth for Corn by Deficit-Irrigation (Case Study: Varamin area). *Journal of Agricultural Research*, 8(4), 123-134. (In Farsi)
- Mousavizadeh, S. F., Honar, T. and Ahmadi, S. H. (2016). Assessment of the AquaCrop Model for simulating Canola under different irrigation managements in a semiarid area. *International Journal of Plant Production*, 10(4): 425-445.
- Nafziger, E. D. (1994). Corn planting date and plant population. *Journal of Production Agriculture*, 7, 59-62.
- Patrignani, A. and Ochsner, T.E. (2015). Canopeo: A Powerful New Tool for Measuring Fractional Green Canopy Cover. *Agronomy Journal*, 107(6), 2312-2320.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., and Fereres, E. (2009a). AquaCrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: Reference Manual Annexes.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C. and Fereres, E. (2009b). AquaCrop – the FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*, 101, 438-447.
- Steduto, P. Hsiao, T. C. Raes, D. and Fereres, E. (2009). AquaCrop— The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3), 426-437.
- Steduto, P., Hsiao, T.C. and Fereres, E. (2007). On the conservative behavior of biomass water productivity. *Journal of Irrigation Science*, 25(3), 189-207.
- Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Saab, M.T.A., Stockle, C. and Steduto, P. (2009). Assessment of Aqua Crop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Journal of Agronomy*, 101 (3), 509-521.
- Vega A. J. (2002). Effects of planting date, genotype and their interactions on sunflower yield: II. Components of oil yield. *Crop Science*, 42, 1202-1210.