مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۴/ ۱۴۰۲. ص۳۲۳-۳۳۵
https://doi.org/10.22092/jwra.2023.363461.1007

بررسی تأثیر روش آبیاری قطره‌ای و شیاری بر شبیه‌سازی عملکرد چغندرقند با استفاده از مدل AquaCrop

مصطفی یعقوب‌زاده*، فرهاد آذرمی آتاجان، مهدی عربی آیسک و امیرحسین قدیریان

دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب–دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

M.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک –دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

farhadazarmi@birjand.ac.ir

دانش‌آموخته کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

mehdiarabi11@yahoo.com

دانش‌آموخته کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

amir.0017h@gmail.com

دریافت: شهریور ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

استفاده صحیح و بهینه از منابع آب و مدیریت علمی آن‌ها امری بسیار حیاتی بوده و ازاین‌رو انتخاب روش مناسب آبیاری می‌تواند در صرفه‌جویی آب در بخش کشاورزی کمک شایانی نماید. در این پژوهش تأثیر انتخاب روش آبیاری مناسب بر شبیه‌سازی عملکرد محصول چغندرقند با استفاده از مدل AquaCrop بررسی شد. به‌این منظور، تأثیر دو روش آبیاری قطره‌ای (تیپ) و شیاری و سه سطح آبیاری (۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه) بر عملکرد گیاه چغندرقند در منطقه سرایان-آیسک بررسی شد. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. نتایج نشان داد که اثر روش آبیاری بر روی قطر برگ، طول برگ، وزن برگ‌ها، قطر غده، طول غده و وزن غده چغندرقند معنی‌دار بود. برای هر صفت، تأثیر آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری شیاری افزایش معنی‌داری داشت و در نهایت برتری روش آبیاری قطره‌ای نسبت به شیاری مشاهده شد. سپس عملکرد دانه و بیوماس با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد و مقادیر شبیه‌سازی‌شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی واسنجی و صحت‌سنجی شد. واسنجی با استفاده از تکرارهای دو سطح تنش ۱۰۰٪ و ۵۰٪ و صحت‌سنجی با استفاده از تعداد تکرار سطح تنش ۷۵٪ و همچنین سطح تنش ۱۰۰٪ در سال زراعی ۱۴۰۱ انجام شد. ضرایب انحراف جذر میانگین مربعات (RMSE)، NRMSE، RD و R^2 حاصل از مقادیر واسنجی مدل نشان داد که مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مقادیرصحت‌سنجی به یکدیگر نزدیک می‌باشند و این مقادیر در آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری شیاری دقت بیشتری دارد. همچنین مقادیر صحت‌سنجی دو روش آبیاری نیز نشان‌دهنده توانایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه و زی‌توده(بیوماس) است.

واژه‌های کلیدی: مدل گیاهی، واسنجی، تنش خشکی

*–آدرس ایمیل نویسنده مسئول: **M.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir**

مقدمه

در گذشته و بخصوص در دهه‌های اخیر دست‌اندازی‌هایی به منابع آب تجدیدناپذیر شده که سهم آیندگان در این کشور و منطقه جغرافیایی را به خطر انداخته است. متوسط سالانه نزولات جوی در ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال است که در حدود یک‌سوم متوسط جهانی و نصف قاره آسیا است. ۲۵ درصد از خاک ایران در محدوده فراخشک و ۴۰ درصد در منطقه خشک و ۲۵ درصد در منطقه غیر خشک هستند (ببران و هنربخش، ۱۳۸۷). مصرف آب در بخش کشاورزی در خاورمیانه ۸۴ درصد و در قاره آفریقا ۸۲ درصد است درحالی‌که مصرف آب در بخش کشاورزی در ایران به بیش از ۹۲ درصد می‌رسد که فقط یک درصد آن در بخش صنعت و هفت درصد در بخش شهری از منابع آب شیرین ایران مصرف می‌شود. در نتیجه باید به جهت جلوگیری از هدررفت آب به‌خصوص در بخش کشاورزی که بیشترین سهم استفاده آبی نسبت به سایر صنایع را دارد توجه بیشتری شود (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳). فشار ناشی از کمبود آب در بخش کشاورزی، انگیزه یافتن راه‌هایی برای بهره‌برداری کامل و درست از منابع آب در دسترس را افزایش داده که به‌کارگیری و استفاده از روش‌های جدید و نوین آبیاری یکی از این راه‌ها است (ال عمران و همکاران[1]، ۲۰۰۴).

چغندرقند گیاهی است که برای تولید محصول نیاز به مصرف آب زیادی دارد که این موضوع مانع توسعه کشت آن در مناطق با محدودیت آب شده است. فابریو[2] و همکاران (۲۰۰۳) به جهت جلوگیری از کاهش سطح زیر کشت و افزایش بازدهی آب آبیاری در زراعت چغندرقند، روش‌های آبیاری با کارایی مصرف آب و بازدهی بالاتر جایگزین کردند. رحیمیان و اسدی (۱۳۷۹) تأثیر تنش آبی بر عملکرد کمی و کیفی چغندرقند در منطقه مشهد را بررسی کردند و نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که کم‌آبیاری کارایی مصرف آب را افزایش داده و افزایش میزان مصرف آب آبیاری نسبت قند خالص به قند ناخالص را کاهش داد. غلظت شکر در ریشه چغندرقند ممکن است به علت اعمال تنش رطوبتی ملایم قبل از برداشت تا حد یک درصد افزایش داشته باشد ولی باید توجه کرد که کل شکر تولید شده ممکن است به دلیل کاهش عملکرد ریشه، کاهش یابد (کوچکی و سلطانی، ۱۳۷۵). ساکیلارو-مکرانتونالی[3] و همکاران (۲۰۰۲) تأثیر دو روش آبیاری سطحی و زیرسطحی با دو رژیم آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در زراعت چغندرقند را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد اعمال ۸۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری زیر سطحی منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۶/۱۶ درصد گردید بدون این‌که در عملکرد ریشه کاهش معنی‌داری به وجود آید.

حسین‌آبادی و همکاران (۱۳۸۴) در آزمایشی اثر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و شیاری را بر روی محصول چغندرقند بررسی نمودند. نتایج نشان داد میزان آب مصرفی در آبیاری قطره‌ای ۵۸ درصد آبیاری سطحی بود. بیشترین عملکرد ریشه مربوط به تیمارهای آبیاری قطره‌ای چهار ردیفه (معمولی) بود. در حالیکه تفاوت معنی‌داری در عملکرد قند سفید تیمارها مشاهده نگردید. بیشترین مقدار کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد قند سفید و عملکرد ریشه در تیمار آبیاری قطره‌ای یک ردیف در میان و کمترین مقدار در تیمار جویچه‌ای معمولی مشاهده گردید. بیشترین نسبت وزن قسمت هوایی به زمینی را تیمار آبیاری سطحی و تیمارهای آبیاری قطره‌ای چهار ردیفه داشتند.

در تحقیقی اثر سه تیمار نیاز آبی ۱۰۰، ۸۵ و ۷۰ درصد تبخیر از تشتک را در آبیاری جویچه‌ای بر روی چغندرقند در اصفهان مورد مطالعه قرار گرفت، در تیمار ۷۰ درصد تبخیر از تشتک مطالعه قرار گرفت، در تیمار ۷۰ درصد تبخیر از تشتک علی‌رغم کاهش ۳۰ درصدی در آب مصرفی عملکرد قند کاهش نیافت (اکبری، ۱۳۷۷).

در یوتای آمریکا مطالعه سامانه‌های مختلف آبیاری در زراعت چغندرقند نتایج نشان داد که آبیاری قطره‌ای جایگزین مناسبی برای آبیاری نشتی و توسعه

[1]- Al- Omran et al
[2]- Faberio
[3] - Sakellariou- Makrantonali

کشت چغندرقند در منطقه است. در آبیاری قطره‌ای اندازه ریشه‌ها و عملکرد شکر نسبت به آبیاری نشتی افزایش یافت. در آبیاری نشتی هزینه کنترل علف‌های هرز و مجموع هزینه‌های متغیر فصلی در مقایسه با آبیاری بارانی افزایش داشت. برگشت سرمایه در آبیاری نشتی ۲۰۸۰ دلار و در قطره‌ای ۲۳۱۰ دلار در هر هکتار بود ضمن این‌که هزینه‌های اولیه در آبیاری قطره‌ای در مزرعه‌ای ۴۰ هکتاری طی هفت سال می‌تواند جبران شود (شارماسارکار[1] و همکاران،۲۰۰۱).

فرهادی (۱۳۷۶) در تحقیق خود بر روی تأثیر روش‌های آبیاری و شیاری بر عملکرد خربزه به این نتیجه رسیدند که آبیاری قطره‌ای باعث افزایش ۱۶ درصدی عملکرد نسبت به شیاری گردید. بر اساس مطالعات امداد و همکاران (۱۴۰۱) طی پژوهش در دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ با هدف تعیین کارآیی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه کینوا با اعمال تنش ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی در مراحل توسعه و میانی، نتایج مقایسه شاخص‌های آماری عملکرد دانه، زیست‌توده و کارآیی مصرف آب در سال دوم به ترتیب نه، شش و نه درصد و کارآیی مدل برای این صفات به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۷۱ و ۰/۶۲ تعیین شد. نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل بیانگر دقت و کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه، زیست‌توده و کارآیی مصرف آب گیاه کینوا بوده و می‌توان از این مدل به جهت ارائه مناسب‌ترین سناریو و مدیریت آبیاری در حالت‌های مختلف تنش و کم آبیاری استفاده کرد. سعادتی و همکاران (۱۳۹۷) کارآیی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، ماده خشک و عملکرد گیاه چغندرقند و رطوبت خاک تحت شش تیمار آبیاری انجام دادند. ارزیابی آماری مدل نتایج، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در اعتبار سنجی به ترتیب بین ۶/۶۴ تا ۹/۲ و ۱۲/۳۶ تا ۲۵/۷۷ درصد بدست آمد. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی عملکرد ریشه و ماده خشک در مرحله واسنجی به ترتیب ۷/۳ و ۸/۶۷ درصد و در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۷/۶۹ و ۹/۸۲ درصد به دست آمد.

ابراهیمی‌پاک و اگدرنژاد (۱۳۹۶) نیز دقت مدل AquaCrop را در تعیین عملکرد و کارایی مصرف آب چغندرقند در مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی شهرکرد انجام دادند. نتایج آماره‌های کارایی مدل و شاخص توافق برای عملکرد چغندرقند به ترتیب برابر با ۰/۶۲ و ۰/۹۹ به دست آمدند. مقایسه آماری نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های مزرعه‌ای نشان داد مدل دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی هردو عامل عملکرد و کارایی مصرف آب دارد.

چغندرقند از یک طرف به‌عنوان گیاهی با مصرف آب زیاد شناخته می‌شود و از طرف دیگر منبع تولید صنایع قند است؛ بنابراین انجام تحقیقات در یافتن روش‌های نوین مدیریت مصرف آب چغندرقند در مزرعه می‌تواند در شرایط خشکسالی راهگشا باشد. با این وجود تحقیقات کمی در زمینه استفاده از روش‌های نوین آبیاری و بخصوص در زمینه واسنجی و صحت سنجی مدل AquaCrop تحت شرایط روش‌های مدیریت مصرف آب مختلف برای گیاه چغندرقند انجام شده است. در راستای این هدف در این تحقیق، بهینه‌ترین رژیم آبیاری چغندرقند با هدف کاهش مصرف آب کشاورزی و افزایش سطح زیر کشت در منطقه تعیین می‌شود. همچنین در این تحقیق، عملکرد چغندرقند تحت تأثیر دو روش آبیاری سطحی (شیاری) و قطره‌ای (تیپ) و تنش‌های اعمال‌شده در مزرعه تعیین و مدل AquaCrop با توجه به عملکرد چغندرقند واسنجی و صحت سنجی شد.

مواد و روش‌ها

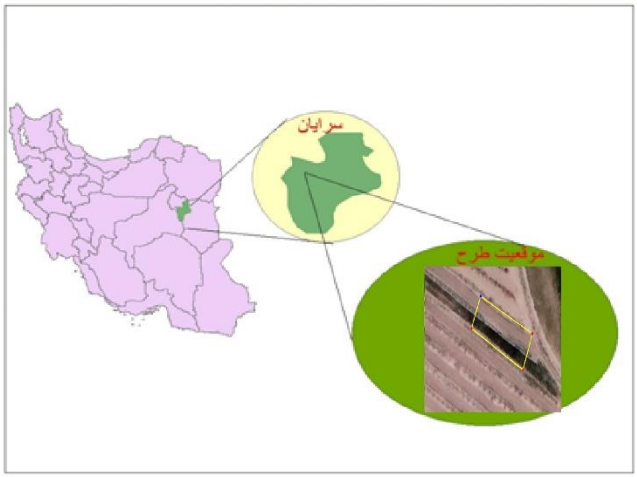
منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در شهرستان سرایان، منطقه آیسک با موقعیت جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و ۵۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۳۶۰ متر از سطح دریا انجام شد. این منطقه از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و

[1]- Sharmasarkar

نیمه‌خشک دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم است. متوسط بارندگی این منطقه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر و میانگین سالانه‌ی دمای آن ۱۶ درجه سانتی‌گراد است.

موقعیت شهرستان سرایان و همچنین محل اجرای طرح در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت شهرستان سرایان و محل اجرای طرح آزمایشی

به‌منظور اجرای این پژوهش قطعه زمینی به مساحت ۳۰۰ مترمربع در نظر گرفته شد که در سال قبل به‌صورت آیش بود. عملیات کشاورزی در مزرعه از تاریخ پنج فروردین ۱۴۰۰ شروع و تا آبان ماه ۱۴۰۰ در طی مراحل کاشت، داشت و برداشت محصول انجام شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش آب‌وخاک و همچنین با استفاده از شاخص ویلکوکس برای طبقه‌بندی کیفیت آب مشخص گردید که آب آبیاری در طبقه C_2S_2 قرار می‌گیرد. جدول (۱) و جدول (۲) به‌ترتیب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق خاک (cm)	EC(dS/m)	PH	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	نوع بافت	درصد اشباع خاک
۳۰/۰-۰/۰۰	۵/۱۸	۷/۸۷	۶۴/۱	۱۸/۰	۱۷/۹	لوم شنی	۲۵/۹
۶۰/۰-۳۰/۰	۶/۴۵	۷/۸۱	۶۵/۷	۱۸/۶	۱۵/۷	لوم شنی	۲۵/۵

جدول ۲- خصوصیات عناصر شیمیایی آب منطقه مورد مطالعه

EC (dS/m)	pH	Ca (meq/lit)	Mg (meq/lit)	Na (meq/lit)	K (meq/lit)	TDH	CO_3 (meq/lit)	Cl (meq/lit)
۳/۴۱	۸/۲۰	۳/۱۰	۵/۱۰	۲۳/۸	۰/۰۳	۴۰۵	۰	۱۸/۰
HCO3 (meq/lit)		SO4 (meq/lit)		SAR		TDS (mg/lit)		دما در حین انجام آزمایش (درجه سانتی‌گراد)
۶/۵۰		۸/۹۰		۱۱/۸		۲۱۸۰		۲۰/۰

روش بررسی

در این پژوهش اثرات روش‌های مختلف آبیاری قطره‌ای و شیاری در سطوح مختلف آب آبیاری (۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی) بر عملکرد چغندرقند در منطقه آیسک در شهرستان سرایان مورد بررسی قرار گرفت. طرح آزمایشی موردنظر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های

کامل تصادفی در چهار تکرار انجام گردید. برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT Version 8i انجام شد و بر اساس نیاز آبی، دور آبیاری و حجم آبیاری مورد نیاز مشخص گردید. از روش فائو پنمن مانتیث در نرم‌افزار CROPWAT برای به‌دست آوردن نیاز آبی گیاه استفاده شد. در این طرح ابعاد کرت‌های فرعی ۳/۵۰×۲/۰۰ (متر×متر) است و به‌منظور جلوگیری از اثرات حاشیه‌ای، فاصله کرت‌ها یک متر در نظر گرفته شد.

نوع طرح آزمایشی و روش کاشت

برای انتخاب رقم چغندرقند مورد نظر، از رقمی انتخاب شد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده می‌گردد. برای این تحقیق تعداد ۲۴ کرت که هر کرت شامل هشت ردیف است و برای کرت‌های آبیاری با نوار تیپ برای هر کرت تعداد چهار نوار تیپ درنظرگرفته شد. طول و عرض کرت‌ها به ترتیب ۲/۰۰ و ۳/۵۰ متر، فاصله بین کرت‌ها ۱/۰۰ متر و فاصله بین تکرارها ۱/۰۰ متر بود. فواصل کاشت بذر به صورتی بود که در تیمار آبیاری شیاری فاصله کاشت بین ردیف‌ها ۵۰/۰ و روی ردیف‌ها ۲۰/۰۰ سانتی‌متر و در مقابل در تیمار آبیاری قطره‌ای (تیپ) فاصله کاشت ردیف‌ها به‌صورت یک‌درمیان ۴۰/۰ و ۵۰/۰ سانتی‌متر و فاصله کاشت در روی ردیف‌ها ۲۰/۰۰ سانتی‌متر انتخاب شد.

در روش آبیاری شیاری، زمان آبیاری بر اساس دور آبیاری ۱۰ روزه اعمال شد. در تیمار آبیاری قطره‌ای نیز از نوارهای آبیاری (تیپ) با قطره چکان‌هایی به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و آبدهی د لیتر در ساعت استفاده گردید.

مقدار آب مورد نیاز با دور آبیاری سه روز اعمال شد. مقدار نیاز خالص آب آبیاری در طول دوره رشد در هر دو روش آبیاری یکسان و برای سطوح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی در مجموع ۹۶۷، ۷۲۵ و ۴۸۳ میلی‌متر برای هر کرت در نظر گرفته شد. در پایان فصل رشد صفاتی مانند طول برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن چغندرقند، قطر غده چغندرقند، طول غده چغندرقند و بیوماس اندازه‌گیری شد. در نهایت مدل گیاهی AquaCrop با استفاده از داده‌های مربوط به آزمایش شامل داده‌های زراعی، خاک و آبیاری اجرا شد و سپس با استفاده از داده‌های عملکرد گیاه، مدل واسنجی و صحت سنجی شد.

مدل AquaCrop

مدل AquaCrop یکی از مدل‌های گیاهی است که برای شبیه‌سازی رشد محصولات با استفاده از سری‌های درازمدت داده‌های اقلیمی گذشته می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (سینگ[۱]، ۲۰۰۴). یکی از جدیدترین مدل‌های ارائه‌شده توسط سازمان خوار و بار کشاورزی ملل متحد مدل AquaCrop است. همچنین این سازمان در بازنگری نشریه ۳۳ به‌وسیله مشورت با متخصصان سازمان‌های تأثیرگذار علمی، دانشگاهی و دولتی جهان، این مدل را برای شبیه‌سازی عملکرد محصولات زراعی با توجه به آب مصرفی، توسعه داد (نصیری اردلی و همکاران، ۱۳۹۳). از مدل AquaCrop برای محدوده‌ی وسیعی از محصولات زراعی مانند محصولات علوفه‌ای، سبزی‌ها، غلات، میوه‌ها و همچنین محصولات روغنی و غده‌ای می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در سال ۲۰۰۷ نسخه‌ی اولیه‌ی این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد محصول و حرکت آب در خاک، معرفی شد که در آن تأثیر تنش شوری، بر عملکرد محصول در نظر نگرفته شد. بسیاری از تحقیقاتی که در زمینه‌ی مدل AquaCrop انجام گرفته در وضعیت بدون شوری منابع آب‌وخاک و عمدتاً برای شبیه‌سازی کم‌آبیاری و عملکرد محصول بوده است (ریس[۲] و همکاران، ۲۰۱۲). مدل AquaCrop نیز مانند مدل CROPWAT از معادله Doorenbos and Kassam در سال ۱۹۷۹ استنتاج شده است و همچنین مانند مدل CROPWAT، در آن ET نسبی اساس محاسبه عملکرد است (کابوسی[۳]، ۲۰۱۰).

[۱]- Singh

[2] -Raes

[3] -Kaboosi

$$\left(\frac{Y_X-Y_a}{Y_X}\right) = K_Y\left(\frac{ET_X-ET_a}{ET_X}\right) \quad (۱)$$

Y_X: عملکرد حداکثر Y_a: عملکرد واقعی ET_X: تبخیر- تعرق حداکثر ET_a: تبخیر- تعرق واقعی K_Y: ضریب تناسب بین کاهش عملکرد نسبی و کاهش نسبی تبخیر- تعرق می‌باشد.

شاخص‌های ارزیابی

به‌منظور ارزیابی و دقت روش‌ها در این تحقیق، چهار معیار ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (RMSE)[1] ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)[2] و میانگین خطای مطلق[3] (MAE)، درصد خطای نسبی[4] (RD) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i^{obs}-x_i^{sim})^2}{n}} \quad (۲)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i^{obs}-x_i^{sim})^2}{n}}}{\overline{x_i^{obs}}} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|x_i^{obs}-x_i^{sim}\right|}{n} \quad (۴)$$

$$RD = \left|\frac{x_i^{obs}-x_i^{sim}}{x_i^{obs}}\right| \quad (۵)$$

که در این رابطه‌ها: x_i^{sim} : مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل، x_i^{obs}: مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه، $\overline{x_i^{obs}}$: متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه، n : تعداد داده‌های استفاده شده در تحقیق و i: تعداد متغییر است.

نتایج و بحث

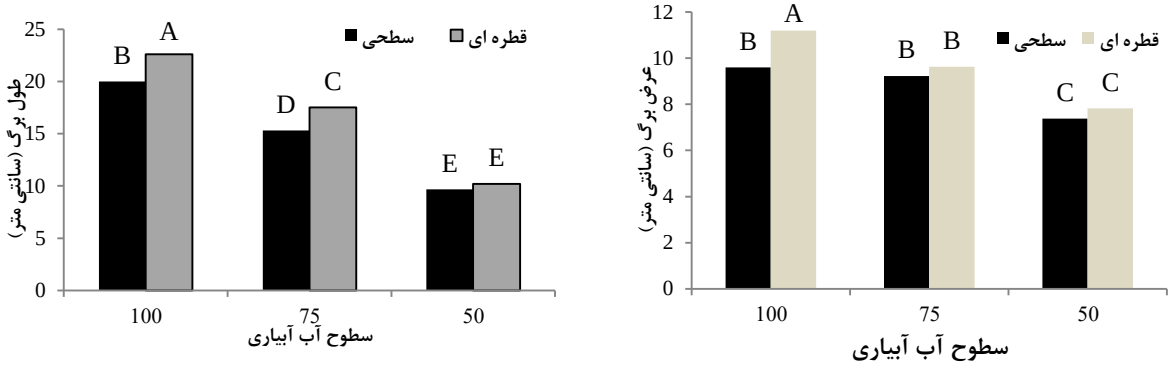
تجزیه واریانس

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر روش‌های آبیاری بر طول برگ معنی‌دار ($p<0.01$) شد. نتایج نشان داد که با کاهش سطوح آبیاری در هر دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی، طول برگ گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بر اساس نتایج بدست آمده، با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، طول برگ در روش آبیاری سطحی (شیاری) به‌ترتیب ۲۳ و ۵۱ درصد و در روش آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب ۲۲ و ۵۵ درصد کاهش یافت. طول برگ در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ نیاز آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری سطحی (شیاری) بود (شکل ۲). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری سطحی (شیاری) و قطره‌ای بر عرض برگ گیاه چغندرقند معنی‌دار ($p<0.01$) شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، هر چند سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبیاری تفاوت معنی‌داری با سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری نداشت، اما سطح ۵۰ درصد نیاز آبیاری موجب کاهش ۲۳ درصدی عرض برگ در مقایسه با سطح بدون تنش آب در این روش آبیاری شد. از طرفی، با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای، عرض برگ به‌ترتیب ۱۴ و ۳۰ درصد کاهش نشان داد. عرض برگ در دو روش آبیاری فقط در شرایط بدون تنش تفاوت معنی‌داری داشتند که اثر روش قطره‌ای بر این شاخص بیشتر از روش آبیاری سطحی (شیاری) بود (شکل ۲).

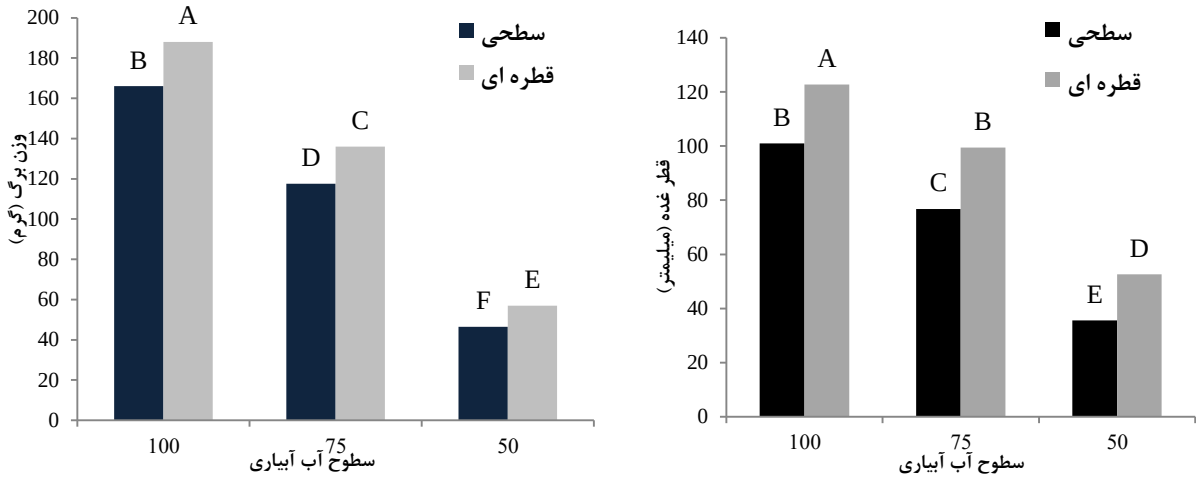
[1]- Root Mean Square Error
[2]-Normal Root Mean Square Error
[3]-Mean Absolute Error
[4]-Relative Difference

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر آبیاری قطره‌ای و سطحی (شیاری) بر خصوصیات مختلف چغندرقند در سطوح مختلف آب آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	طول برگ	عرض برگ	وزن برگ	قطر غده	طول غده	وزن غده
تیمار	۵	۱۰۸ **	۵/۱۴ **	۱۳۱۲۹ **	۴۳۲۰ **	۱۴۵ **	۲۱۳۶۱۱ **
خطا	۱۸	۱/۴۶	۰/۲۲	۴۴/۲	۵۰/۵	۲/۱۱	۱۱۳۰
ضریب تغییرات		۷/۶۱	۵/۱۴	۵/۶۱	۸/۷۳	۶/۵۷	۹/۸۱



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر روش آبیاری و مقدار آب آبیاری بر طول برگ چغندرقند

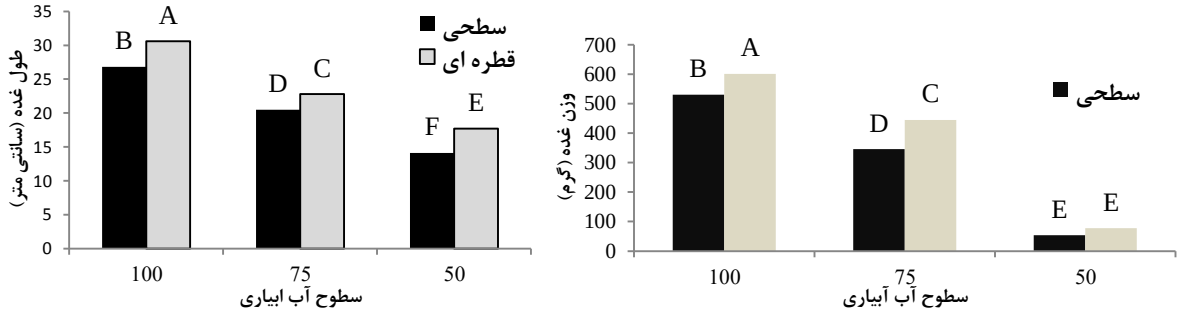


شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر روش آبیاری و مقدار آب آبیاری بر وزن برگ و قطر غده چغندرقند

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار بودن ($p<0.01$) روش‌های آبیاری بر وزن برگ چغندرقند بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که وزن برگ در تمام سطوح آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای در مقایسه با آبیاری سطحی (شیاری) بطور معنی‌دار بیشتر بود. از طرفی در هر دو روش آبیاری با کاهش سطح آبیاری، وزن برگ بطور معنی‌داری کاهش نشان داد. بیشترین و کمترین وزن برگ در روش آبیاری سطحی (شیاری) به‌ترتیب برابر ۱۶۶ و ۴۶/۵ گرم و در روش آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب برابر ۱۸۸ و ۵۶/۹ گرم و مربوط به سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری بود (شکل ۳). بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر روش‌های آبیاری بر قطر غده چغندرقند معنی‌دار ($p<0.01$) شد. نتایج نشان داد که با کاهش سطح آبیاری در هر دو روش آبیاری، قطر غده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بطوریکه، با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری، قطر غده در روش آبیاری سطحی به‌ترتیب ۲۴ و ۶۷ درصد و در روش آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب ۱۹ و ۵۷ درصد کاهش یافت که نشان دهنده شدت

بیشتر کاهش این شاخص در روش آبیاری سطحی (شیاری) نسبت به روش آبیاری قطره‌ای است. در تمامی سطوح آبیاری، قطر غده در روش آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری از روش آبیاری سطحی بیشتر بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش‌های آبیاری سطحی (شیاری) و قطره‌ای بر طول غده چغندرقند معنی‌دار ($p<0.01$) گردید. با عنایت به نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین طول غده در هر دو روش آبیاری سطحی (۲۶/۸ سانتی‌متر) و قطره‌ای (۳۰/۶ سانتی‌متر) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری، به دست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با دیگر سطوح آبیاری داشت. همچنین کمترین طول غده در روش‌های آبیاری سطحی (شیاری) و قطره‌ای به‌ترتیب برابر ۱۴/۱ و ۱۷/۷ سانتی‌متر بود که مربوط به سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود. برای این پارامتر نیز نقش آبیاری قطره‌ای در تمامی سطوح آبیاری بارزتر از روش آبیاری سطحی (شیاری) بود (شکل ۴). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار بودن ($p<0.01$) روش‌های آبیاری بر وزن غده چغندرقند بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که با کاهش سطح آبیاری وزن غده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبیاری، وزن غده‌ها در روش آبیاری قطره‌ای بیشتر از روش آبیاری سطحی (شیاری) بود. از طرفی، در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبیاری، اختلاف معنی‌داری بین دو روش آبیاری برای این پارامتر مشاهده نشد. با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری، وزن غده در روش آبیاری سطحی (شیاری) به‌ترتیب ۳۵ و ۹۰ درصد و در روش آبیاری قطره‌ای به‌ترتیب ۲۹ و ۸۷ درصد کاهش یافت. بیشترین وزن غده (۶۰۱ گرم) مربوط به روش آبیاری قطره‌ای و در شرایط بدون تنش آبی بود که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها داشت (شکل ۴). در تحقیقی اثر روش‌های آبیاری قطره‌ای و شیاری روی محصول چغندرقند بررسی شد (حسین‌آبادی و قاسمی، ۲۰۰۴) نتایج نشان داد میزان آب مصرفی در آبیاری قطره‌ای ۵۸ درصد آبیاری سطحی بود. بیشترین عملکرد ریشه مربوط به تیمارهای آبیاری قطرهای (معمولی) بود، درحالی‌که از نظر عملکرد قند سفید بین تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید.



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر روش آبیاری و مقدار آب آبیاری بر طول غده چغندرقند

واسنجی مدل AquaCrop

مدل‌هایی که برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی استفاده می‌شوند، در واقع بیان ریاضی ساده شده‌ای از یک سیستم زراعی واقعی بوده و در عمل دربرگیرنده همه فرآیندهای بیولوژیک، فیزیکی و شیمیایی دخیل در سامانه‌های زراعی نمی‌باشند. به‌همین دلیل ضرایب و روابط ریاضی به‌کار رفته در آن‌ها در یک دامنه مشخص تا حدودی تحت تأثیر شرایط محیطی هر منطقه خواهد بود. در چنین شرایطی به‌منظور اطمینان از صحت عملکرد مدل، فرآیند واسنجی باید با هدف انطباق بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده صورت گیرد. در این تحقیق، از داده‌های مزرعه‌ای اندازه‌گیری شده برای سطح ۱۰۰ درصد و کم‌آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی جهت واسنجی مدل AquaCrop استفاده شد. در این بخش مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل در جدول ۴

برای عملکرد دانه و عملکرد بیوماس در دو سطح ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی آمده است. مقادیر جدول نشان‌دهنده نزدیکی مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی مقادیر عملکرد و بیوماس برای هر دو سیستم آبیاری قطره‌ای و سطحی است. مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل برای آبیاری تیپ از آبیاری شیاری بیشتر است ولی در هر دو روش آبیاری، مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی در تیمار ۱۰۰ درصد و بدون تنش به هم نزدیک هستند ولی در تنش ۵۰ درصد نیازآبی مقادیر شبیه‌سازی اختلاف قابل قبولی با مقادیر مشاهداتی دارند.

با توجه به مقادیر معیارهای ارزیابی مندرج در جدول ۵ و جدول ۶ در مرحله واسنجی می‌توان بیان نمود که مقادیر RMSE و R^2 که به نوعی کارایی مدل را در محاسبه عملکرد دانه و بیوماس نشان می‌دهد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار RMSE میانگین سطوح ۱۰۰ درصد عملکرد و بیوماس برای آبیاری سطحی (شیاری) به ترتیب ۱/۸۹ و ۱/۵۲ و برای R^2 به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۷ و برای آبیاری قطره‌ای مقادیر RMSE به ترتیب ۳/۷۲ و ۴/۰۴ و برای R^2 به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۸۳ است. وجود مقادیر NRMSE کمتر از ۱۰ برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی نشان از دقت بالای مدل در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی است بااین‌حال تنها مدل در شبیه-سازی عملکرد برای سطح ۵۰ درصد نیاز آبی برای روش آبیاری سطحی (شیاری) از دقت کمی برخوردار است ولی برای آبیاری قطره‌ای و شبیه‌سازی بیوماس از دقت خوب تا متوسط برخوردار است.

نتایج پژوهش کلانکی و همکاران (۱۳۹۶) به‌منظور بررسی اثر تلفیق مدیریت آبیاری و تاریخ کشت بر کارایی مصرف آب ذرت با استفاده از مدل DSSAT نشان داد که در مرحله واسنجی مدل، میزان NRMSE، d و R^2 برای شاخص سطح برگ به‌ترتیب برابر با ۶/۸، ۰/۹ و ۰/۹۱ و برای عملکرد دانه برابر با ۲/۲۸، ۱ و ۱ بدست آمده است.

جدول ۴- مقادیر عملکرد و بیوماس شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی در دو سطح ۱۰۰ و ۵۰ درصد با استفاده از دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی (شیاری)

آبیاری		سطح آبیاری			
		۱۰۰ درصد		۵۰ درصد	
		شبیه‌سازی	مشاهداتی	شبیه‌سازی	مشاهداتی
عملکرد	قطره‌ای	۴۰/۵۵	۴۱/۸۳	۶/۶۱	۹/۷۳
	سطحی	۳۷/۹۴	۳۸/۴۴	۵/۴۵	۷/۰۶
بیوماس	قطره‌ای	۵۳/۶۴	۵۴/۹۷	۹/۶۷	۱۱/۹۸
	سطحی	۴۸/۲۹	۴۹/۹۸	۶/۶۶	۹/۲۹

جدول ۵- معیارهای ارزیابی در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در مرحله واسنجی برای عملکرد دانه و بیوماس

	آبیاری	NRMSE	RMSE	R^2	RD	MAE
عملکرد	قطره‌ای	۴/۵	۱/۸۹	۰/۹۷	۰/۰۴۷	۱/۷۶
	سطحی	۹/۶۸	۳/۷۲	۰/۹۲	۰/۰۷	۳/۱
بیوماس	قطره‌ای	۲/۷۶	۱/۵۲	۰/۹۹	۰/۰۳	۱/۲۲
	سطحی	۲/۰۸	۴/۰۴	۰/۸۳	۰/۰۶	۳/۵۰

جدول ۶- معیارهای ارزیابی در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در مرحله واسنجی برای عملکرد دانه و بیوماس

	آبیاری	NRMSE	RMSE	R^2	RD	MAE
عملکرد	قطره‌ای	۱۸/۷	۱/۸۲	۰/۹۱	۰/۷۴	۱/۵۸
	سطحی	۸۱/۴	۵/۷۵	۰/۸۳	۱/۱	۵/۵۹
بیوماس	قطره‌ای	۲۰/۹۵	۲/۵۱	۰/۸۷	۰/۴۳	۲/۳۱
	سطحی	۳۷/۰۳	۳/۴۴	۰/۷۸	۰/۳	۲/۴

صحت سنجی مدل AquaCrop

پس از مرحله واسنجی، کارایی مدل و صحت نتایج به‌دست‌آمده برای داده‌های واسنجی شده برای سطح ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی مورد بررسی قرار گرفت. سپس استفاده از تکرارهای سطح ۷۵ درصد، مدل صحت سنجی شد. قدیریان و همکاران (۱۳۹۹) برای واسنجی مدل AquaCrop از داده‌های عملکرد و بیوماس دو سطح ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی و برای صحت سنجی از سطح ۵۰ درصد نیاز آبی استفاده کردند. در جدول (۷) نتایج صحت‌سنجی پارامترهای عملکرد دانه و بیوماس ارائه شده است. با توجه به مقادیر شاخص‌های آماری (جدول ۸) می‌توان بیان نمود که مدل AquaCrop به‌خوبی عملکرد دانه و بیوماس را در شبیه‌سازی نموده است. در فرآیند صحت‌سنجی که با استفاده از سطح ۷۵ درصد انجام شده است نیز مشاهده می‌شود میانگین عملکرد دانه و بیوماس در روش آبیاری قطره‌ای (تیپ) از آبیاری سطحی (شیاری) بیشتر و مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی به هم نزدیک هستند.

نتایج بدست آمده از صحت سنجی مدل AquaCrop نشان می‌دهد آبیاری قطره‌ای (تیپ) در برآورد عملکرد دانه با RMSE ۳/۳۱ نسبت به ۷/۶۶ آبیاری سطحی (شیاری) مقدار قابل قبول‌تری نشان می‌دهد. در عملکرد بیوماس نیز آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری شیاری مقادیر RMSE پایین‌تر ارائه داد. وجود مقادیر NRMSE کمتر از ۱۰ و ۲۰ برای سطح ۷۵ درصد نیاز آبی نشان از دقت زیاد و خوب مدل در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس برای سطح ۷۵ درصد نیاز آبی در روش آبیاری قطره‌ای است. کمترین دقت مدل در شبیه‌سازی عملکرد به روش آبیاری سطحی است که مقدار ۳۲/۳۲ نشان‌دهنده دقت متوسط مدل در شبیه‌سازی است. نتایج حاصل از مقادیر NRMSE نشان‌دهنده دقت مدل در شبیه‌سازی بهتر در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به سطحی و در شبیه‌سازی بیوماس نسبت به عملکرد است. برای اطمینان بیشتر از نتایج صحت سنجی در سال ۱۴۰۱ با سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سطح کرت داخل مزرعه با دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی مقایسه‌ای صورت گرفت که نتایج نزدیک به نتایج صحت سنجی سال قبل ارائه شد و برتری آبیاری قطره‌ای نسبت به سطحی مشخص گردید. سعادتی و همکاران (۱۳۹۷) در شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی چغندرقند در تیمارهای مختلف آبیاری در مرحله واسنجی بین ۵/۱۸ تا ۹/۴۱ درصد و در مرحله صحت سنجی بین ۶/۶۴ تا ۹/۲ درصد به دست آوردند. همچنین نتایج امیری و خورسند (۱۳۹۷) برای ضریب تغییرات پیش‌بینی عملکرد دانه در مرحله واسنجی و صحت سنجی به ترتیب برای عملکرد ذرت توسط مدل به‌ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۸۰ و برای عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۸۶ بدست آوردند.

جدول ۷- مقادیر عملکرد و بیوماس شبیه‌سازی و مشاهداتی چغندرقند بدست آمده از دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی (شیاری)

		شبیه‌سازی	مشاهداتی
عملکرد	قطره‌ای	۲۳/۷۹	۲۴/۵۷
	سطحی	۲۳/۱۷	۲۳/۷۰
بیوماس	قطره‌ای	۳۵/۸۹	۴۰/۰۵
	سطحی	۳۰/۱۳	۳۱/۵۰

جدول ۸- معیارهای ارزیابی در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی برای عملکرد دانه و بیوماس در مرحله صحت سنجی

	نوع آبیاری	NRMSE	RMSE	R^2	RD	MAE
عملکرد	قطره‌ای	۱۳/۴۷	۳/۳۱	۰/۸۹	۰/۱۰۵	۲/۷۰
	سطحی	۳۲/۳۲	۷/۶۶	۰/۷۶	۰/۲	۵/۸۸
بیوماس	قطره‌ای	۹/۵۴	۳/۸۲	۰/۸۲	۰/۱۱۵	۴/۱۷
	سطحی	۱۷/۶۸	۵/۵۷	۰/۸۵	۰/۰۴	۱/۵۶

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر می‌توان گزارش نمود که روش آبیاری روی قطر برگ، طول برگ، وزن برگ‌ها، قطر غده چغندرقند، طول غده، وزن غده تأثیر معنی‌دار داشت به‌نحوی‌که بین دو روش آبیاری قطره-ای (تیپ) و آبیاری سطحی (شیاری) برای هر صفت، تأثر آبیاری قطره‌ای به نسبت شیاری افزایش معنی‌داری داشت که در نهایت برتری روش آبیاری قطره‌ای به نسبت شیاری مشاهده شد. در بررسی اثر متقابل روش آبیاری و تنش آبیاری فقط برای وزن خشک برگ‌ها تأثیر معنی‌داری مشاهده شد. از طرفی تنش آبیاری روی قطر برگ، طول برگ، وزن برگ‌ها، قطر غده چغندرقند، طول غده، وزن غده تأثیر معنی‌دار داشت و مشخص شد با افزایش آبیاری مقدار عددی هر یک از صفات افزایش می‌یابد. سپس عملکرد دانه و بیوماس با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد و مقادیر شبیه‌سازی‌شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی واسنجی و صحت سنجی شد. واسنجی با استفاده از تکرارهای دو سطح ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی و صحت سنجی با استفاده از تعداد تکرار سطح ۷۵ درصد نیاز آبی انجام شد. مقادیر واسنجی مدل نشان داد مقادیر شبیه‌سازی‌شده و صحت سنجی عملکرد و بیوماس به یکدیگر نزدیک می‌باشند و این مقادیر در آبیاری قطره‌ای (تیپ) از آبیاری سطحی (شیاری) دقت بیشتری دارد. مقادیر صحت سنجی دو روش آبیاری نیز نشان‌دهنده توانایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس است. نتایج حاصل از مقادیر NRMSE نیز نشان‌دهنده دقت مدل در شبیه‌سازی بهتر در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به سطحی (شیاری) و در شبیه‌سازی بیوماس نسبت به عملکرد است.

تقدیر و تشکر

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۷۴۰۴/د/۱۴۰۰ مورخ ۱۴۰۰/۵/۱۷ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی پاک، ن.ع.، و اگدرنژاد، ا.، ۱۳۹۶. ارزیابی و تحلیل حساسیت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد چغندرقند تحت تنش‌های آبی در شهرکرد، مجله مدیریت آب و آبیاری، ۷(۲): ۳۳۱-۳۱۹.

۲. احمدی، ب.، حیدری شرف‌آبادی، ح.، عبدالهیان نوقابی، م.، محمدیان، ر.، و مختصی بیدگلی، ع.، ۱۴۰۱. مقایسه واکنش عملکرد کمی و کیفی ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند تحت شرایط تنش خشکی، فصلنامه علوم به‌زراعی گیاهی، ۱۲(۲): ۱۰۲-۱۱۹.

۳. اکبری، م.، ۱۳۷۷. تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد چغندرقند، نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، نشر کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

۴. امداد، م.ر.، تافته، آ.، و ابراهیمی‌پاک، ن.ع.، ۱۴۰۱. کارایی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد کینوا در مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری. نشریه آب‌وخاک، ۳۶(۳): ۳۳۱-۳۱۹.

۵. امیری، ا.، و خورسند، ا.، ۱۳۹۷. ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی ماده خشک کل و عملکرد دانه ذرت تحت مدیریت آبیاری و نیتروژن، مجله اکوفیزیولوژی گیاهی، ۳۳(۱۰): ۱۸۵-۱۷۴.

۶. برادران فیروزآبادی، م.، ۱۳۸۱. بررسی رابطه صفات مرفولوژی و فیزیولوژیکی ارقام چغندرقند با تنش خشکی. پایان‌نامه کارشناس ارشد زراعت. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۷. ببران، ص.، و هنربخش، ن.، ۱۳۸۷. بحران وضعیت آب در جهان و ایران. مجله راهبرد، ۸: ۲۱۲-۱۹۳.

۸. حکیمی نیا، ع.، و بلندنظر، ص.ع.، ۱۳۸۹. اثر آبیاری محدود بر عملکرد و کارایی مصرف آب پیاز خوراکی رقم قرمز آذرشهر. اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان. ۲۳(۳): ۲۷-۱۱.

۹. دبیری، ف.، خوشنویس‌یزدی، س.، و زندی، ف.، ۱۳۹۲. اثرات بهره‌وری کشاورزی در رشد اقتصادی ایران، پژوهشنامه اقتصاد و کسب و کار، ۴(۵): ۳۱-۱۷.

۱۰. رحیمیان، م.ح.، و اسدی، ح.، ۱۳۷۹. تأثیر تنش آبی بر عملکرد کمی و کیفی چغندرقند و تعیین تابع تولید ضریب گیاهی آن. مجله خاک و آب ویژه‌نامه آبیاری. ۱۲(۱۰): ۶۳-۵۸.

۱۱. کوچکی، ع.، کوک، د.ا.، و سلطانی ا ۱۳۷۵. زراعت چغندرقند. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.

۱۲. کیانیان، ن.، و عالی‌نژادیان بیدآبادی، ا.، ۱۴۰۰. بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر برخی خصوصیات عملکردی چغندرقند در منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه. دومین همایش ملی کم‌آبیاری و استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی مناطق خشک، دانشگاه فسا.

۱۳. سعادتی، ز.، دلبری، م.، پناهی، م.، و امیری، ا.، ۱۳۹۷. شبیه‌سازی رشد چغندرقند تحت تنش آبی با استفاده از مدل AquaCrop، مجله حفاظت منابع آب‌وخاک، ۳(۳): ۱۹-۱.

۱۴. فرهادی، م.ع.، ۱۳۷۶. مقایسه آبیاری قطره‌ای و شیاری به خصوصیات کمی و کیفی خربزه در منطقه تربت‌جام. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۱۵. قدیریان، ا.م.، یعقوب‌زاده، م.، زمانی، غ.ر.، و شهیدی، ع.، ۱۳۹۹. واسنجی و صحت سنجی مدل گیاهی AquaCrop جهت شبیه‌سازی عملکرد سه رقم گندم تحت تنش رطوبتی مختلف، مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۶): ۲۲۶۷-۲۲۵۷.

۱۶. محمدجانی، ا.، و یزدانیان، ن.، ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن، ۶۵ و ۶۶: ۱۴۴-۱۱۷.

۱۷. محمدی، م.، داوری، ک.، قهرمان، ب.، انصاری، ح.، و حق‌وردی، ا.، ۱۳۹۴. واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره تحت تنش هم‌زمان شوری و خشکی (مطالعه موردی : مشهد). نشریه پژوهش آب در کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۹(۳): ۲۹۵-۲۷۷.

۱۸. مهدی حسین‌آبادی، ز.، و قائمی، ع.ا.، ۱۳۸۳. مقایسه ضرائب یکنواختی و عملکرد چغندرقند در آبیاری نواری قطره‌ای(Tape) و جویچه‌ای. دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب‌وخاک. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شیراز.

۱۹. یعقوب زاده، م.، ۱۳۹۴. شبیه‌سازی تبخیر و تعرق و رطوبت خاک به‌منظور ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی برای دوره‌های پایه و آتی به کمک سنجش‌ازدور، رساله دکتری دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.

20. Al-Omran, A. M., Sheta, A. S., Falatah, A. M., and Al-Harbi, A. R., 2004. Clay Deposits for Water Management of Sandy Soils. Arid Land Res. Manage. 18: 171-183.

21. Biswas, S. K., Sarker, P. K., Islam, A. M., Bhuiyan, M. A., & Kundu, B. C., 2003. Effect of irrigation on onion production. Pakistan Journal of Biological Sciences (Pakistan). 6(20) : 1725–1728.

22. Camposeo, S., Rubino, P., 2003 Effect of irrigation frequency on root water uptake in sugar beet. Springer Science, Business Media BV, Formerly Kluwer Academic Publishers BV, 253 (2) : 301–309.

23. Cavazza, L., Venturi, G., Amaducci, M.T., 1976. Outlines on the state of irrigation of the sugar beet in the world. 39th Winter Congress, Bruxelles.

24. English, M., James, L., and Chen, C. F., 1990. Deficit irrigation. II: observations in Columbia basin. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 116 (3): 413-426.
25. Fabrio, C., Martin de Santa Olalla, Lopez, R., Dominguez, A., 2003. Production and quality of sugar beet (Beta vulgaris L.) cultivated under controlled deficit irrigation condition in semiarid – climate. Agricultural Water Management, 62: 215-227.
26. Lamm-F., Manges, H.B., Stonc. L.R., Khan, A., and Rogers, D., 1995. Water requirement of subsurface drip irrigated corn in dorthuest kansus. AS. AE, 38(2) : 441-448.
27. Kaboosi, K., & Kaveh, F., 2010. Sensitivity analysis of Doorenbos and Kassam (1979) crop water production function. African Journal of Agricultural Research, 5(17) : 2399-2417.
28. Patel, N., Kumar, P., & Singh, N., 2008. Performance evaluation of AquaCrop in simulating potato yield under varying water availability conditions. Indian Agricultural Research Institute.
29. Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. Agronomy Journal, 101(3) : 438-447.
30. Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E., 2012. FAO, Land and Water Division Rome, Italy.
31. Sharmasarkar, FC., Held L.J., Miller, G., 2001. Agroeconomic analyses of drip irrigation for sugar beet production, Agron.J. (93) : 517-523.
32. Sakellariou- Makrantonali, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P., 2002. Water saving and yield increase of sugarbeet with subsurface drip irrigation. Global Nest: the Int. J., 4(2-3): 85-91.
33. Singh, R., 2004. Simulations on direct and cyclic use of saline waters for sustaining cotton–wheat in a semi-arid area of north-west India. Agricultural Water Management, 66(2): 153-162.

Investigating the Effect of Drip and Furrow Irrigation Methods on the Simulation of Sugar Beet Yield by Using AquaCrop Model

M. Yaghoobzadeh*, F. Azarmi Atajan, M. Arabi Ayask, and A. H. Ghadirian

Associate Prof., Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
Research Group of Drought and Climate change, University of Birjand, Birjand, Iran.
M.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir
Assistant Prof., Department of Soil Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
Research Group of Drought and Climate change, University of Birjand, Birjand, Iran.
farhadazarmi@birjand.ac.ir
M.Sc. of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, University of Birjand.
mehdiarabi11@yahoo.com
M.Sc. of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, University of Birjand.
amir.0017h@gmail.com

Received: September 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

Optimal use and management of water resources is very important. Also, choosing the appropriate irrigation method plays a vital role in saving water consumption in the agricultural sector. Therefore, in the current research, the effect of the irrigation method on the simulation of sugar beet yield was investigated using the AquaCrop model. In this study, the effect of two methods of drip irrigation (tape) and surface irrigation (furrow) and three levels of irrigation water (50%, 75%, and 100% of the plant's water requirement) on the yield of sugar beet plants was investigated in Sarayan-Ayask region, Iran. A factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with 4 replications in 2021-22. The results showed that irrigation method had a significant effect on leaf diameter, leaf length, leaf weight, tuber diameter, and tuber length and weight of sugar beet tuber. Also, according to the results, drip irrigation had greater effect than furrow irrigation on the studied traits. Then, the grain and biomass yield was simulated using the AquaCrop model and the simulated values were calibrated and verified using observational data. Calibration was done using two replications of 100% and 50% stress levels, and validation was done using the replication of 75% stress level. The NRMSE, RMSE, RD and R^2 coefficients of the model calibration values showed that the simulated and validated values were close to each other and these values were more precise in drip irrigation than in furrow irrigation. Validation values of two irrigation methods also showed the ability of model in simulating grain yield and biomass.

Keywords: Plant model, Calibration, Drought stress

* - Corresponding author's email: M.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir