

مقاله علمی-پژوهشی

برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی مینی تیوبر سیب زمینی سه رقم رایج در ایران در شرایط گلخانه

کبری جانقربان^۱، جمالعلی الفتی^۲، محمدرضا خالدیان^{۳*}، حسن حسن آبادی^۴، یوسف حمیداوغلی^۵

چکیده

تعیین نیاز آبی گیاه شرط لازم برای اجرای آبیاری اصولی و بهبود بهره‌وری آب در گلخانه است که با توجه به محدودیت منابع آب کشور و تشدید آن در اثر سو مدیریت و تغییر اقلیم ضروری است. هدف از مطالعه حاضر تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی سه رقم مینی تیوبر سیب زمینی در شرایط گلخانه در شهرستان مینادشت استان اصفهان بود. به این منظور، سه رقم سیب زمینی سانه، اگریا و دزیره با هدف تولید غده به همراه چمن در میکرولاسیسمتر در سه تکرار در سال ۱۴۰۰ کشت شد و با حفظ روزانه وضعیت رطوبت بستر کشت در حد ظرفیت زراعی، نیاز آبی در طول فصل رشد تعیین شد. همچنین ضریب گیاهی سه رقم مینی تیوبر سیب زمینی یاد شده در مراحل مختلف رشد تعیین شد. نتایج نشان داد که نیاز آبی مینی تیوبر سیب زمینی برای سه رقم مورد مطالعه در محدوده ۶۹/۲ تا ۷۷ میلی‌متر در طول دوره رشد بود. متوسط ضریب گیاهی برای سه رقم مورد مطالعه در چهار دوره رشد اولیه، توسعه، میانی و نهایی به ترتیب ۰/۴۹، ۰/۸، ۱/۱۴ و ۰/۸۷ بود. با توجه به اینکه استان اصفهان مانند بسیاری از نقاط کشور دارای محدودیت شدید منابع آبی است، در گلخانه‌ها با وجود اینکه یک محیط کنترل شده از نظر آب و مواد غذایی است، رعایت دقیق نیاز آبی در مراحل مختلف رشد گیاه موجب افزایش بهره‌وری آب و سایر منابع تولید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق، محیط کنترل شده، میکرولاسیسمتر، مینی تیوبر

مقدمه

پتونیا (*Petunia hybrid L.*) اشاره کرد (Fernald, 1970). همه سیب زمینی‌های وحشی و کشت شده از جنس سولانوم هستند که حدود ۱۴۰۰ گونه را شامل می‌شوند (Jansky and Spooner, 2018). بعد از سال‌ها کشت تنها تعداد کمی از ارقام سیب زمینی توانایی تولید بذر دارند و به‌ندرت گل‌های آن به میوه تبدیل می‌شوند. میوه‌های سیب زمینی مشابه گوجه‌فرنگی سبز کوچک است که هر میوه بالای ۱۰۰ بذر دارد که برای تولید ارقام جدید استفاده می‌شوند (Acquaah, 2012). طبق گزارش FAO بعد از ذرت، گندم و برنج، سیب زمینی چهارمین محصول غذایی مهم جهان محسوب می‌شود (FAO, 2017). طبق آخرین تخمین‌های انجام شده سطح زیر کشت این محصول در جهان نزدیک به ۱۸ میلیون هکتار با میزان تولید ۳۷۵ میلیون تن است (FAO, 2023). آسیا با تولید سالانه ۱۹۶ میلیون تن، رتبه نخست تولید سیب زمینی را دارد و بعد از آن به ترتیب اروپا، آمریکا، آفریقا و اقیانوسیه قرار دارند. ایران به‌عنوان یکی از کشورهای تولیدکننده سیب زمینی با تولید سالانه حدود پنج میلیون تن رتبه چهاردهم جهان را دارد (FAO, 2017). سطح زیرکشت سیب-

سیب زمینی با نام علمی *Solanum tuberosum* متعلق به خانواده سولاناسه است. این خانواده دارای بیش از ۲۰۰۰ جنس و گونه متفاوت است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به گوجه‌فرنگی (*S. lycopersicum L.*)، بادمجان (*S. melongena L.*)، فلفل شیرین (*Capsicum annuum L.*)، تنباکو (*Nicotiana tabacum L.*) و

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

^۲ استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

^۳ دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان و گروه پژوهشی مهندسی آب و محیط زیست پژوهشکده حوزه آبی دریای خزر، رشت، ایران (*)- نویسنده مسئول: (khaledian@guilan.ac.ir)

^۴ عضو هیات علمی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

^۵ دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۵

زمینی کشور ایران ۱۳۱ هزار هکتار، تولید کل ۴/۷ میلیون تن و متوسط عملکرد در هکتار ۳۶ تن می باشد (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۲). مقدار مواد مغذی که از یک هکتار سیب زمینی به دست می آید دو تا چهار برابر بیشتر از غلات در همان سطح کشت می باشد (FAO, 2008). همچنین سیب زمینی نسبت به اکثر محصولات، ماده غذایی بیشتری در واحد مصرف آب تولید می کند و هفت برابر کارآمدتر از غلات است (CIP, 2016). طبق گزارشات سازمان ملل در سال ۲۰۱۷ جمعیت جهان در سال ۲۰۱۵ حدود ۷/۴ میلیارد بود و این در حالی است که این جمعیت تا سال ۲۰۳۰ به ۸/۶ و تا سال ۲۰۵۰ به ۱۱/۲ میلیارد افزایش خواهد یافت. این جمعیت رو به رشد منجر به تقاضای قابل توجهی برای غذا می شود. هم زمان با افزایش نیاز به غذا، نیاز به آب در بخش کشاورزی و غیر کشاورزی نیز افزایش خواهد داشت. بنابراین تولید و انتخاب ارقام سیب زمینی با کارایی مصرف آب بالاتر و مقاوم به خشکی ضروری خواهد بود. رقم اگر یا و سانته از ارقام مهم و تجاری ایران محسوب می شوند. این ارقام به نسبت مقاوم به تنش خشکی محسوب می شوند. رقم دزیره نیز یک رقم وارداتی با پوست قرمز است که از ارقام خیلی مقاوم به تنش خشکی در بین ارقام مختلف سیب زمینی محسوب می شوند.

کم آبی در سرتاسر دنیا در حال گسترش است و تغییر اقلیم موجب تشدید کم آبی و بروز بیشتر رخدادهای اقلیمی نظیر بارندگی و دوره های خشکی طولانی می شود (WWAP, 2016). در حال حاضر کشاورزی مصرف کننده عمده آب است (حدود ۹۰ درصد منابع آب در ایران و ۶۹ درصد منابع آب دنیا) (FAO, 2020). بنابراین بایستی از مدیریت اصولی آبیاری برای کاهش مصرف آب استفاده کرد. نیاز آبی سیب زمینی ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی متر در طول فصل رشد است (Allen et al., 1998). برنامه ریزی آبیاری اصولی سیب زمینی برای جلوگیری از تنش آبی به دلیل سامانه ریشه های کم عمق الزامی است (Kukal et al., 2020; Gonzalez et al., 2023). تعیین نیاز آبی سیب زمینی برای رسیدن به حداکثر عملکرد و بهینه کردن مصرف آب آبیاری ضروری است، به ویژه در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند و تحت تأثیر تغییر اقلیم نیز هستند. در مدیریت آب کشاورزی در مقیاس منطقه ای، برآورد تبخیر-تعرق گیاهی و متعاقب آن تعیین نیاز آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار است (Pereira et al., 2020). برآورد تبخیر-تعرق گیاهی شامل محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع و در ادامه

تعیین ضریب گیاهی با کمک آزمایشات منطقه ای و یا منابع معتبر مانند آلن و همکاران (Allen et al., 1998) انجام می شود. طبق توصیه فائو محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع با روش پنمن-مانتیت فائو انجام می شود. برآورد درست تبخیر-تعرق گیاهی تابعی از تخمین درست ضریب گیاهی است که ممکن است تحت اثر اقلیم و مراحل توسعه گیاه دارای مقادیر متفاوتی باشد (Groh et al., 2015). پژوهشگران زیادی بر تعیین ضریب گیاهی در شرایط محیطی مختلف تأکید دارند (Doorenbos and Pruitt, 1977; Allen et al., 2000; Tyagi et al., 1998). امروزه مقادیر ضریب گیاهی برای گیاهان مختلف به کمک آزمایشات لایسیمتری تعیین می شود (Jensen and Allen, 2016). به کمک بیلان آبی در یک حجم محدود خاک موجود در لایسیمتر و اندازه گیری تغییرات وزن می توان نیاز آبی گیاه کشت شده در لایسیمتر را تعیین کرد (Dolezal et al., 2018). گونزالس و همکاران (Gonzalez et al., 2023) در مطالعه خود، مقادیر ضریب گیاهی سیب زمینی را در چهار دوره رشد اولیه، توسعه، میانی و نهایی به ترتیب ۰/۴، ۰/۶۹، ۰/۹۶ و ۰/۵۷ گزارش کردند که با نتایج فائو (Allen et al., 1998) متفاوت است. دلیل این امر به تفاوت محیط کشت، طول دوره رشد و رقم ارتباط دارد (Rai et al., 2017; Baştug et al., 2024). به طور کلی ضریب گیاهی در شرایط گلخانه به دلیل محیط کنترل شده که امکان استفاده بیشتر از آب فراهم می شود، عموماً با شرایط مزرعه متفاوت است، زیرا در گلخانه ها رطوبت و دمای بالاتر است و میزان تبخیر-تعرق متفاوت از فضای باز است (Abd El-Fattah and Ibrahim, 2023).

علی رغم انجام پژوهش های مناسب در فضای باز برای تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی سیب زمینی نظیر گونزالس و همکاران (Gonzalez et al., 2023) و موکیبی و همکاران (Mukiibi et al., 2023)، تاکنون نیاز آبی و ضرایب گیاهی مینی تیوبر سیب زمینی در گلخانه با توجه به گسترش کشت های اختصاصی این گیاه در گلخانه انجام نشده است؛ بنابراین، هدف مطالعه حاضر تعیین ضریب گیاهی مینی تیوبر سیب زمینی در شرایط گلخانه ای با استفاده از میکرو لایسیمتر بود که می تواند در مدیریت اصولی آبیاری، صرفه جویی در مصرف آب و افزایش بهره وری آب آبیاری مؤثر باشد. به منظور اصلاح سیب زمینی برای تحمل شرایط کم آبی، کشت گلخانه ای با کاهش هزینه و زمان انتخاب ژنوتیپ های برتر به کشت مزرعه ای اولویت دارد (Atlin et

مطالعه حاضر بر اساس (al., 2017; Placide et al., 2016). رهنمودهای نشریه ۲۱۷ فائو (Baudoin et al., 2013) در مورد کشت گلخانه و تعیین نیاز آبی کشت‌های گلخانه‌ای، بخشی از یک مطالعه جامع‌تر است که طی آن، از سه رقم شناخته شده آگریا، سائنه و دزیره ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم آبی تولید شده است. برای انجام فرآیند اصلاح موفق در جهت تحمل شرایط کم آبی، برآورد دقیق نیاز آبی والدین (رقم‌های آگریا، سائنه و دزیره) ضروری است تا بر اساس نیاز آبی آن‌ها میزان تنش آبی برای ژنوتیپ‌های ایجاد شده اعمال شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در یک گلخانه تجاری با پوشش پلاستیک با ارتفاع ۴/۵ متر واقع در شهرستان مینادشت در استان اصفهان انجام شد. در این پژوهش نیاز آبی و ضرایب گیاهی سه رقم سیب‌زمینی با نام‌های سائنه، آگریا و دزیره، با استفاده از نیاز آبی چمن در پاییز سال ۱۳۹۹ انجام شد. برای تعیین تبخیر-تعرق سیب‌زمینی و چمن اسپورت به‌عنوان گیاه مرجع و در نهایت ضریب گیاهی سیب‌زمینی، غده‌های

مادری سیب‌زمینی و بذر چمن در میکرولاسیسمتر کشت شدند (شکل ۱). تراکم چمن به حدی بود که بستر کشت قابل رویت نبوده و تبخیر از سطح بستر کشت به حداقل ممکن برسد. در زیر هر میکرولاسیسمتر برای جمع‌آوری زه‌آب یک ظرف پلاستیکی قرار گرفت. بعد از آنکه ارتفاع چمن‌های کشت شده به ۱۲ سانتی‌متر رسید مقدار رطوبت نسبی، دمای بیشینه و دمای کمینه و نیز دمای سطح برگ توسط دماسنج مادون قرمز به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. رطوبت بستر میکرولاسیسمتر همواره در حالت نزدیک به ظرفیت مزرعه بود. به‌این منظور وزن میکرولاسیسمتر در یک ساعت مشخص به صورت روزانه قبل از آبیاری وزن می‌شدند و با توجه به میزان کاهش وزن طی ۲۴ ساعت گذشته مجدداً آبیاری انجام می‌شد. در پایان مراحل رشد گیاهان، با استفاده از تمامی داده‌های برداشت شده طی پژوهش اقدام به تعیین مقادیر تبخیر-تعرق روزانه چمن و غده سیب‌زمینی شد. در انتها با تقسیم میزان تبخیر-تعرق سیب‌زمینی بر تبخیر-تعرق چمن، ضریب گیاهی مراحل مختلف رشد شامل مرحله رشد اولیه، توسعه، میانی و انتهایی محاسبه شد (Allen et al., 1998).



شکل ۱- الف: نمای محل آزمایش، ب: رقم سائنه رشد کرده در میکرولاسیسمتر، ج: توزین روزانه میکرولاسیسمترها

زراعی، هر ۱۲ میکرولاسیسمتر به مدت ۴۸ ساعت در ظروف حاوی آب قرار گرفتند. برای جلوگیری از تبخیر آب، روی سطح هر میکرولاسیسمتر یک پوشش پلاستیک گذاشته شد. بعد از گذشت ۴۸ ساعت، میکرولاسیسمترها از آب خارج شده و اجازه داده شد تا آب اضافی به شکل زه‌آب خارج شود و سپس هر گلدان با کمک یک ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شد و به‌عنوان وزن گلدان در حد ظرفیت زراعی تا پایان آزمایش انتخاب شد. سپس در سه عدد از آن‌ها

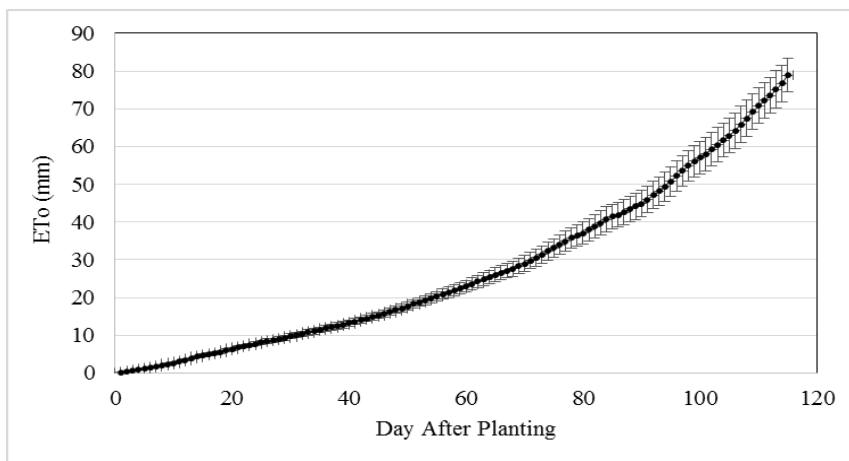
برای انجام آزمایش ۱۲ میکرولاسیسمتر از جنس پی‌وی‌سی، با قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر تهیه شد. بستر کشت انتخاب شده در این آزمایش ترکیب کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۱:۱ بود. برای اندازه‌گیری وزن اشباع هر بستر ابتدا وزن خالی هر میکرولاسیسمتر اندازه‌گیری شد و سپس بستر تهیه شده با کمک یک پیمان به هر گلدان اضافه گردید تا هر میکرولاسیسمتر تقریباً میزان بستر یکسانی داشته باشند. برای تعیین وزن هر میکرولاسیسمتر در شرایط ظرفیت

گلخانه، طول دوره ۱۱۵ روز برای رشد هر سه رقم سیب زمینی انتخاب گردید. پس از گذشت دوره ۱۱۵ روزه، بر اساس آبیاری انجام شده میزان ضریب گیاهی هر رقم در شرایط گلخانه محاسبه و نمودار آن رسم گردید. آنالیز داده‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS21 در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال متناظر با جدول تجزیه واریانس انجام شد.

نتایج و بحث

در شکل ۲ متوسط تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن ارائه شده است. با توجه به دوره رشد گیاه اصلی که ۱۱۵ روز است، مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع در این دوره ۷۸/۹ میلی‌متر بود.

چمن اسپورت کشت گردید. کشت غده‌های سیب زمینی تا رسیدن چمن به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متری به تعویق افتاد. پس از آماده شدن چمن‌ها، غده‌های سیب‌زمینی هر سه رقم با سه تکرار (سه میکرولاسیمتر) کشت شدند. با شروع جوانه‌زنی غده‌ها داده‌برداری آغاز گردید. هر روز کاهش وزن میکرولاسیمترها با کمک ترازوی ۰/۰۰۱ گرم دقت یادداشت گردید و به میزان کاهش وزن، مجدداً آبیاری صورت گرفت تا همواره گلدان‌ها در حالت ظرفیت زراعی باقی بماند. در صورت وجود زه‌آب در زیر گلدانی‌ها، وزن آب اندازه‌گیری شد و از میزان آب روز قبل کاسته شد. دوره رشد سیب‌زمینی طبق FAO در زمین کشاورزی با توجه به منطقه و رقم بین ۱۱۵ تا ۱۴۰ روز می‌باشد (Allen et al., 1998). با توجه به کوتاه شدن دوره کشت در



شکل ۲- تبخیر-تعرق گیاه مرجع (چمن) در طول دوره رشد سیب‌زمینی

(1990 و گونزالس و همکاران (Gonzalez et al., 2023) همخوانی ندارد، چرا که آن‌ها یک دوره کشت طولانی‌تر (حدود شش ماهه در برابر ۱۱۵ روزه) به‌منظور تولید سیب‌زمینی خوراکی و نه مینی تیوبر سیب‌زمینی مدنظر داشتند. افزون بر این، تبخیر-تعرق گیاهی در مطالعه حاضر در محدوده ۶۹/۲ تا ۷۷ میلی‌متر در طول دوره پرورش مینی تیوبر سیب‌زمینی در داخل گلخانه بود، در حالی که تبخیر-تعرق در مطالعه گونزالس و همکاران در فضای باز مزرعه در محدوده ۸۳۲ تا ۹۸۳ میلی‌متر بود. تبخیر-تعرق در فضای بسته کاملاً با درکی که از تبخیر-تعرق در فضای باز وجود دارد متفاوت است (Gonzalez et al., 2023) و فائو در نشریه ۲۱۷ خود بر این نکته تأکید کرده است (Baudoin et al., 2013). در مطالعه بیلی و همکاران نیز طول دوره رشد ۱۸۰ روز بوده است و میزان نیاز آبی بالاتر از یافته‌های مطالعه

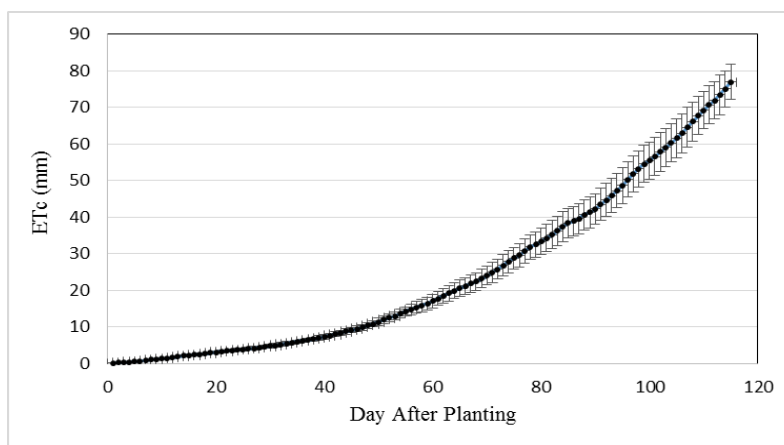
تبخیر-تعرق سیب‌زمینی برای هر سه رقم سائنه، اگریا، دزیره و همچنین متوسط تبخیر-تعرق گیاهی این سه رقم به‌ترتیب در شکل-های ۳ تا ۶ ارائه شده‌اند. نتایج نشان داد که نیاز آبی سیب‌زمینی در محدوده ۶۹/۲ تا ۷۷ میلی‌متر در طول دوره رشد به‌منظور تولید مینی تیوبر سیب‌زمینی بود. کمترین مقدار نیاز آبی با مقدار ۶۹/۲ میلی‌متر مربوط به رقم دزیره و بیشترین مقدار با ۷۷ میلی‌متر مربوط به رقم سائنه بود که ۱۱ درصد بیشتر از نیاز آبی رقم دزیره است. رقم اگریا با نیاز آبی ۷۶/۹ میلی‌متر در طول فصل رشد ۱۱۵ روزه، دارای نیاز آبی بالاتر از رقم دزیره به میزان ۱۱ درصد بود. متوسط عملکرد سه رقم سائنه، اگریا و دزیره به‌منظور تولید مینی تیوبر (نه سیب‌زمینی خوراکی) به‌ترتیب ۱۷۰، ۱۴۰ و ۵۰ گرم در بوته بود ($p>0.05$). این یافته‌ها با نتایج مطالعه رایب و استارک (Wright and Stark,

حاضر بوده است (Belay et al., 2019). افزون بر این، هدف تولید سیب‌زمینی خوراکی بوده است. این تفاوت‌ها نشان‌دهنده ضرورت انجام مطالعات محلی برای تعیین ضریب گیاهی برای هر منطقه با ویژگی‌های مشابه است تا بتوان آبیاری اصولی انجام داد و ضمن کاهش مصرف آب، بهبود بهره‌وری آب حاصل شود. همچنین هدف کشت اعم از تولید سیب‌زمینی خوراکی یا مینی‌تیوبر و محیط کشت اعم از فضای باز یا گلخانه روی ضریب گیاهی اثر می‌گذارد (Abd El-Fattah and Ibrahim, 2023).

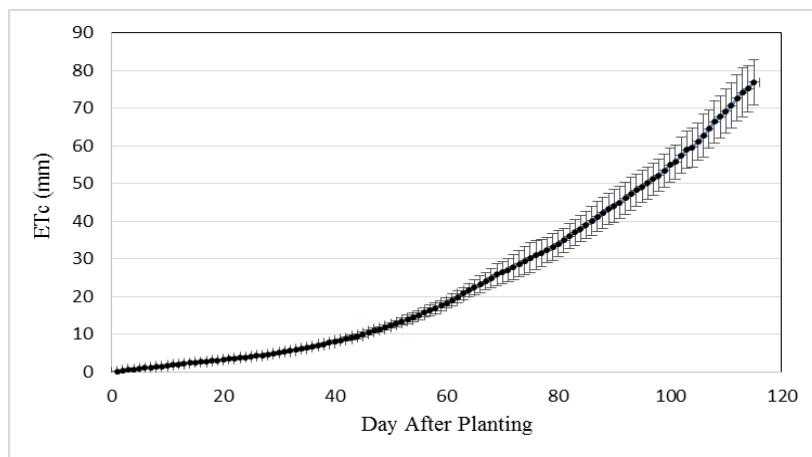
در جدول ۱ تبخیر-تعرق غده سیب‌زمینی در طول چهار دوره رشدی گیاه برای هر سه رقم مورد مطالعه سائته، اگریا و دزیره ارائه شده است. تبخیر-تعرق روزانه سه رقم سائته، اگریا و دزیره در دوره اولیه رشد به ترتیب ۰/۱۶، ۰/۱۶ و ۰/۱۵ میلی‌متر (با میانگین ۰/۱۶ میلی‌متر) بود. این مقدار برای سه رقم سائته، اگریا و دزیره در دوره توسعه به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۳۵ و ۰/۳۶ میلی‌متر (با میانگین ۰/۳۵ میلی‌متر) بود. تبخیر-تعرق روزانه در مرحله میانی رشد برای سه رقم سائته، اگریا و دزیره به ترتیب ۰/۸، ۰/۷۸ و ۰/۶۵ میلی‌متر (با میانگین ۰/۷۴ میلی‌متر) بود. این مقدار در مرحله نهایی رشد برای سه رقم سائته، اگریا و دزیره به ترتیب ۱/۲۷، ۱/۲۵ و ۱/۳۹ میلی‌متر (با میانگین ۱/۳ میلی‌متر) بود. مقادیر کم نیاز آبی اندازه‌گیری شده در مطالعه حاضر در مقایسه با سایر مطالعات نظیر گونزالس و همکاران (Gonzalez et

al., 2023) و موکیبی و همکاران (Mukiibi et al., 2023)، به دلیل انجام پژوهش در فضای گلخانه و همچنین تفاوت نیاز آبی کشت با هدف تولید مینی‌تیوبر سیب‌زمینی و سیب‌زمینی خوراکی است. تعیین مقدار نیاز آبی گیاه برای برنامه‌ریزی اصولی آبیاری به منظور دستیابی به حداکثر محصول و بهبود بهره‌وری آب آبیاری ضروری است (Kukul et al., 2020)، به‌ویژه در مناطقی نظیر استان اصفهان که با کمبود منابع آب مواجه هست.

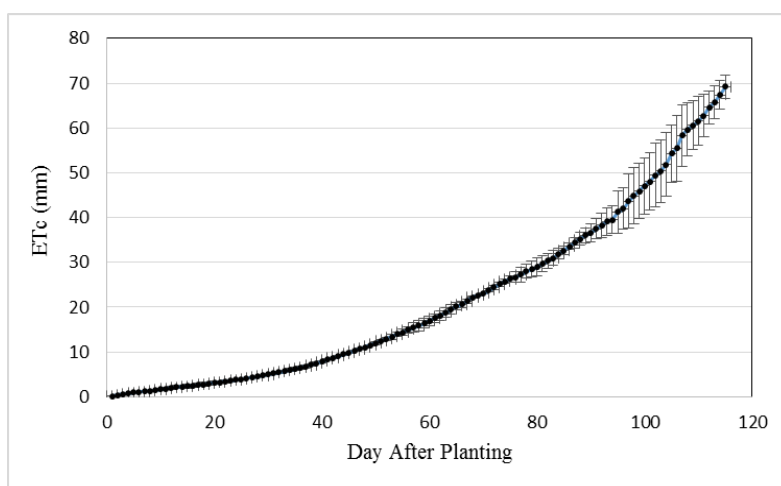
با داشتن تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن و سیب‌زمینی که در داخل گلخانه اندازه‌گیری شده‌اند، ضریب گیاهی سه رقم سائته، اگریا، دزیره و همچنین متوسط ضریب گیاهی این سه رقم به ترتیب در شکل‌های ۷ تا ۱۰ ارائه شده‌اند. این شیوه ارائه ضریب گیاهی قبلاً توسط دورنباس و پروت (Doorenbos and Pruitt, 1997)، آلن و همکاران (Allen et al., 1998) و آلن و همکاران (Allen et al., 2007) انجام شده است. متوسط طول دوره رشد اولیه، توسعه، میانی و نهایی برای سه رقم مورد مطالعه به ترتیب ۲۵، ۳۰، ۳۰ و ۳۰ روز بود. متوسط ضریب گیاهی برای سه رقم سائته، اگریا و دزیره در چهار دوره رشد اولیه، توسعه، میانی و نهایی به ترتیب ۰/۴۹، ۰/۸، ۱/۱۴ و ۰/۸۷ بود. این مقادیر با مقادیر گزارش شده در نشریه فائم ۵۶ (Allen et al., 1998) همخوانی دارد.



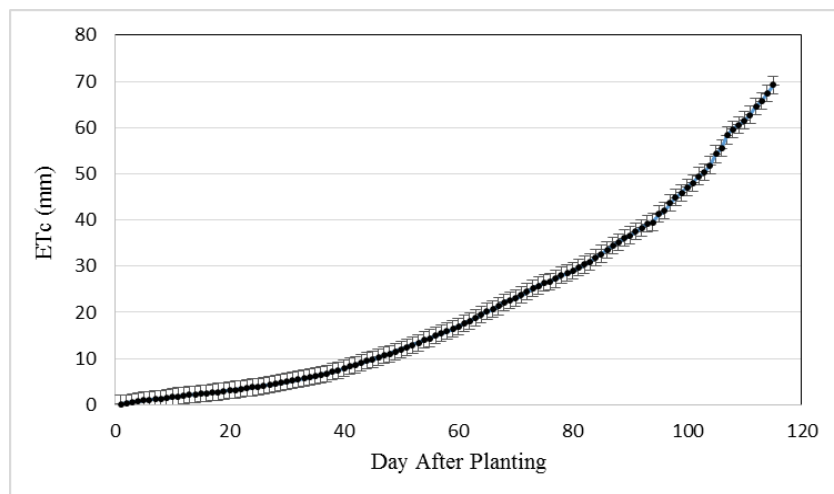
شکل ۳- تبخیر-تعرق تجمعی سیب‌زمینی رقم سائته در طول دوره رشد سیب‌زمینی



شکل ۴- تبخیر-تعرق تجمعی سیب زمینی رقم آگریا در طول دوره رشد سیب زمینی



شکل ۵- تبخیر-تعرق تجمعی سیب زمینی رقم دزیره در طول دوره رشد سیب زمینی



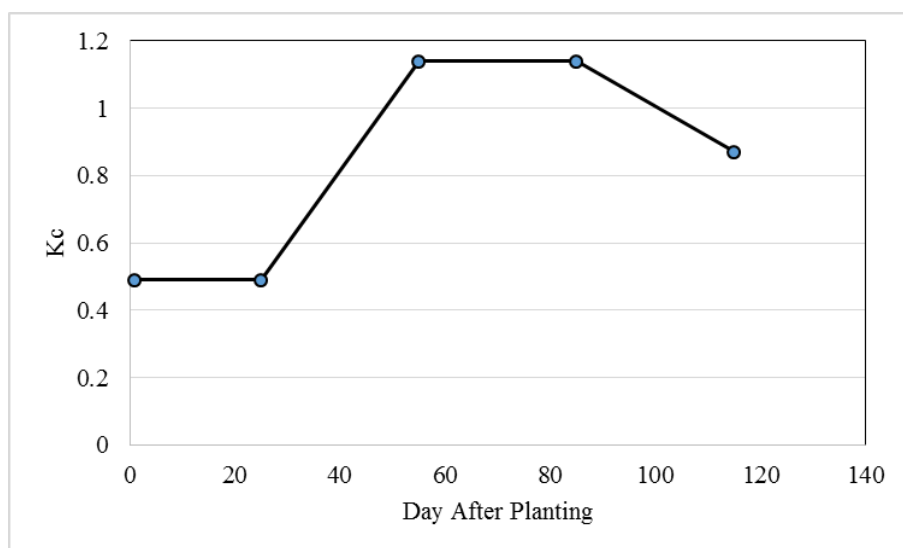
شکل ۶- میانگین تبخیر-تعرق تجمعی سیب زمینی سه رقم سانه، آگریا و دزیره در طول دوره رشد سیب زمینی

جدول ۱- تبخیر-تعرق سیب زمینی در طول چهار دوره رشدی گیاه برای سه رقم مورد مطالعه

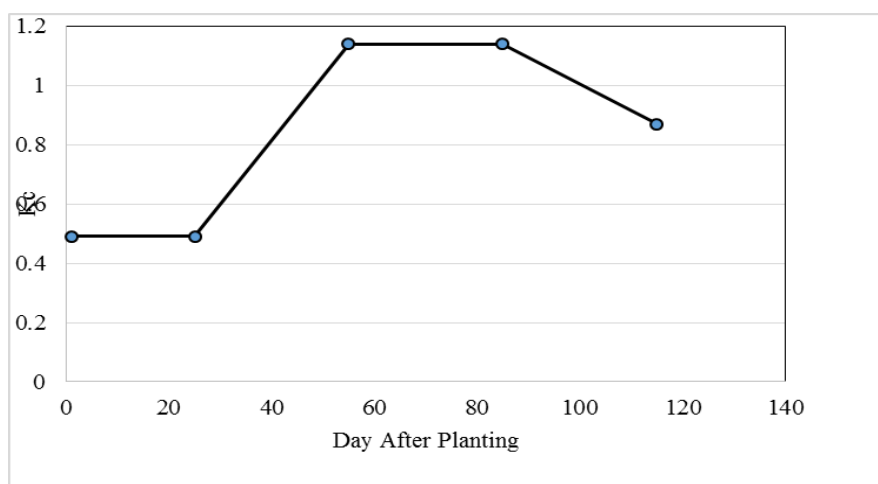
Cultivar	ETc-int	ETc-dev	ETc-mid	ETc-late
Sante	0.15±0.03	0.34±0.14	0.81±0.19	1.28±0.32
Agria	0.16±0.03	0.36±0.13	0.80±0.14	1.26±0.35
Desire	0.15±0.04	0.36±0.12	0.67±0.16	1.41±0.53
Average	0.16±0.04	0.35±0.13	0.74±0.13	1.31±0.41
p-value	0.671	0.650	0.001	0.002

ضریب گیاهی سیب زمینی را در چهار دوره رشد اولیه، توسعه، میانی و نهایی به ترتیب ۰/۴، ۰/۶۹، ۰/۹۶ و ۰/۵۷ گزارش کردند که قدری پایین تر از یافته های مطالعه حاضر است که به تفاوت محیط کشت، طول دوره رشد و رقم ارتباط دارد.

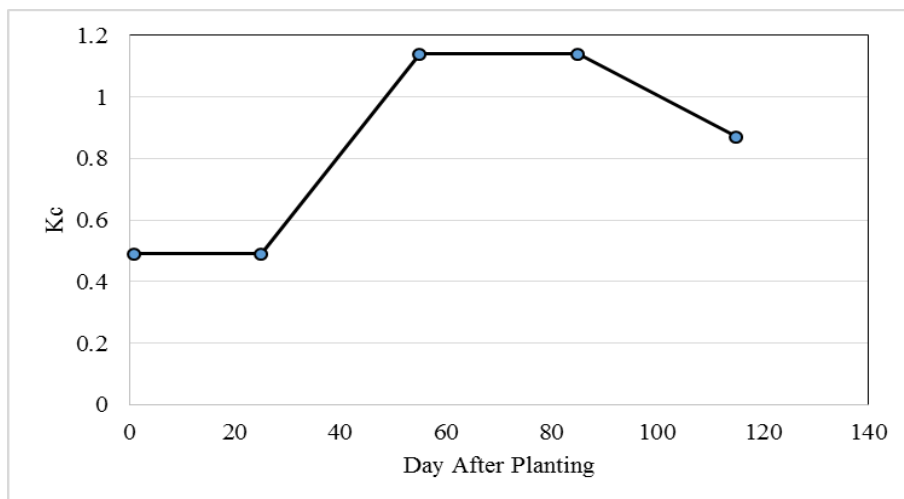
مقادییری که در فائو ۵۶ گزارش شده از مطالعات سایر پژوهشگران گرفته شده است (Doorenbos and Pruitt, 1977; Doorenbos and Kassam, 1979; Wright, 1981; 1982; Gonzalez et al. Pruitt, 1986) (2023) در مطالعه خود، مقادیر



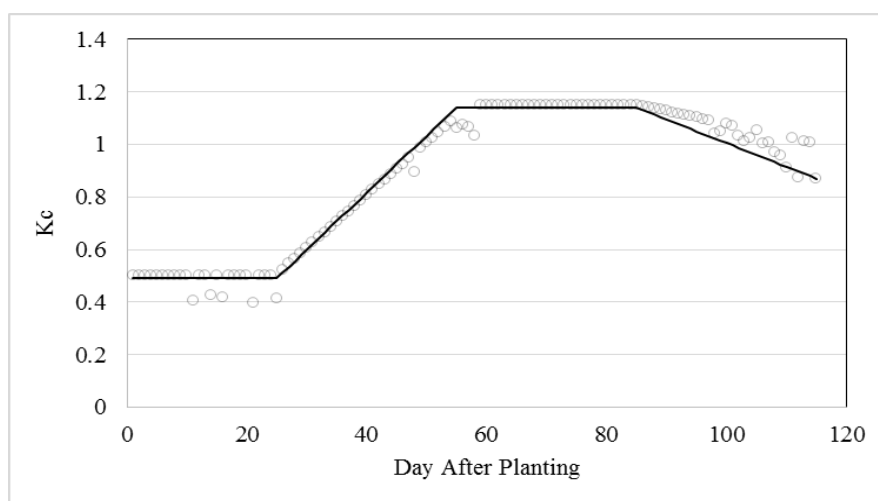
شکل ۷- ضریب گیاهی رقم سائنه در طول دوره رشد سیب زمینی



شکل ۸- ضریب گیاهی رقم آگریا در طول دوره رشد سیب زمینی



شکل ۹- ضریب گیاهی رقم دزیره در طول دوره رشد سیب زمینی



شکل ۱۰- متوسط ضریب گیاهی سه رقم سیب زمینی در طول دوره رشد

که مقادیر مختلف قدری با هم تفاوت دارند، اما به هر حال مقادیر مطالعه حاضر برای دوره رشد اولیه در محدوده مقادیر اعلام شده توسط سه منبع یاد شده است. ضریب گیاهی محاسبه شده در مطالعه حاضر در دوره رشد میانی قدری بالاتر از مقادیر منابع یاد شده است. اما ضریب گیاهی محاسبه شده در مطالعه حاضر بالاتر از مقادیر گزارش شده توسط هر سه منبع یاد شده است. دلیل این امر، کوتاه تر بودن دوره رشد در مطالعه حاضر نسبت به سه منبع یاد شده است (۱۱۵ روز در مقایسه با ۱۸۰ روز). در مطالعه حاضر هدف تولید مینی تیوبر بود و دوره رشد گیاه کوتاه تر می شود. این تفاوت ها نشان دهنده ضرورت انجام مطالعات محلی برای تعیین ضریب گیاهی برای هر منطقه با ویژگی های مشابه است تا بتوان آبیاری اصولی انجام داد و

در جدول ۲ ضریب گیاهی غده سیب زمینی در طول چهار دوره رشدی گیاه برای هر سه رقم مورد مطالعه سائنه، اگر یا و دزیره ارائه شده است. در جدول ۳ متوسط ضریب گیاهی غده سیب زمینی برای هر سه رقم مورد مطالعه سائنه، اگر یا و دزیره در طول سه دوره رشدی گیاه در مقایسه با سایر منابع معتبر ارائه شده است. معمولاً ضریب گیاهی در منابع علمی برای سه دوره رشد اولیه، میانی و نهایی گزارش می شود. فائو ضرایب گیاهی را برای این سه دوره اعلام کرده است (Allen et al., 1998). مقایسه ضرایب گیاهی محاسبه شده در مطالعه حاضر و مقادیر ارائه شده توسط فائو (Allen et al., 1998)، USBR (2023) و دانشگاه واشنگتن (WSU, 2025) نشان می دهد

ضمن کاهش مصرف آب، بهبود بهره‌وری آب حاصل شود. همچنین هدف کشت اعم از تولید سیب‌زمینی خوراکی یا بذری و محیط کشت اعم از فضای باز یا گلخانه روی ضریب گیاهی اثر می‌گذارد.

جدول ۲- ضریب گیاهی سیب‌زمینی در طول چهار دوره رشدی گیاه برای سه رقم مورد مطالعه

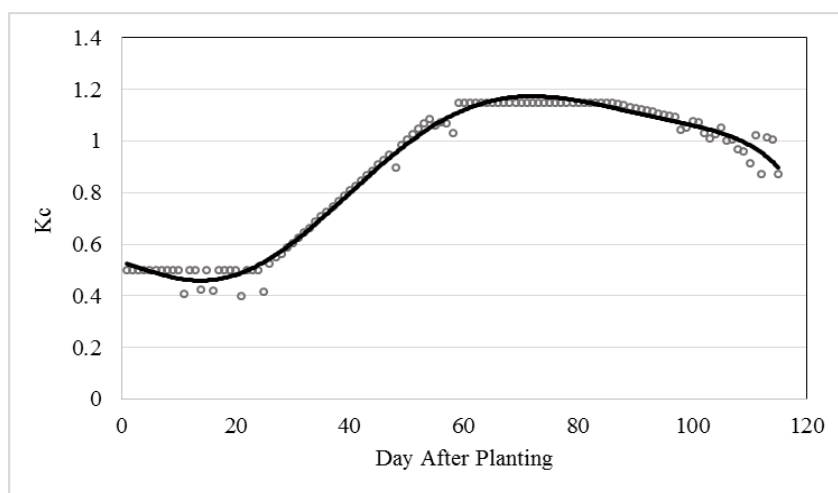
Cultivar	Kc-int	Kc-dev	Kc-mid	Kc-late
Sante	0.49±0.03	0.80±0.18	1.14±0.03	0.87±0.08
Agria	0.49±0.03	0.80±0.18	1.14±0.03	0.87±0.08
Desire	0.49±0.03	0.80±0.18	1.14±0.03	0.87±0.08
Average	0.49±0.03	0.80±0.18	1.14±0.03	0.87±0.08
p-value	1	1	1	1

جدول ۳- ضریب گیاهی غده سیب‌زمینی در طول سه دوره رشدی گیاه برای سه رقم مورد مطالعه در مقایسه با سایر منابع علمی معتبر

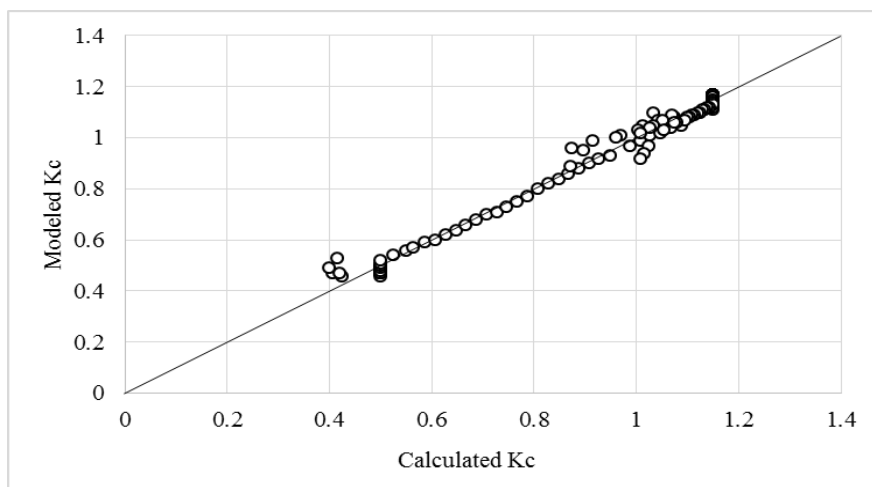
Reference	Kc-int	Kc-mid	Kc-late
FAO	0.50	1.12	0.40
USBR	0.30	0.93	0.50
WSU	0.40	0.99	0.56
This study	0.49±0.03	1.14±0.03	0.87±0.08

معمولا برای سادگی کار، ضرایب گیاهی نه برای ارقام یک گیاه بلکه برای یک گیاه به صورت عام گزارش می‌شود (Mazahrih et al., 2012; Kadam et al., 2020). به این منظور، یک منحنی پلی‌نومینال درجه شش روی مقادیر متوسط ضریب گیاهی سه رقم سانت، اگریا و دزیره برازش شد (شکل ۱۰). معادله این منحنی در رابطه ۱ ارائه شده است (RMSE=0.03, NRMSE=3.4%, $r=0.99$, $r^2=0.99$, $n=115$, $p\text{-value}<0.0001$). خط ۱:۱ بین مقادیر محاسبه شده ضریب

گیاهی و مقادیر محاسبه شده با مدل رگرسیون یاد شده در بالا در شکل ۱۲ ارائه شده است که بیانگر دقت مناسب این مدل است و می‌تواند برای تعیین ضریب گیاهی هر سه رقم مورد استفاده قرار گیرد و در توسعه مدل‌های رشد گیاهی غده سیب‌زمینی استفاده شود. همچنین انجام آبیاری هوشمند گلخانه با استفاده از حس‌گرها و معادله ذکر شده انجام‌پذیر است.



شکل ۱۱- برازش منحنی بر متوسط ضریب گیاهی سه رقم سیب‌زمینی در طول دوره رشد



شکل ۱۲- خط ۱:۱ مقایسه متوسط ضریب گیاهی سه رقم سیب زمینی محاسبه شده و مقادیر مدل شده بر اساس منحنی برازش شده

$$Kc = 0.49 + 0.003 \times DAP - 0.001 \times DAP^2 + 6.22 \times 10^{-5} \times DAP^3 - 1.2 \times 10^{-6} \times DAP^4 - 9.59 \times 10^{-9} \times DAP^5 - 2.8 \times 10^{-11} \times DAP^6$$

(۱)

در این رابطه:

Kc: ضریب گیاهی و DAP: روز پس از کاشت

نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی سه رقم غده سیب زمینی شامل سائنه، اگریا و دزیره در شرایط گلخانه در شهرستان مینادشت استان اصفهان انجام شد. اگر چه محیط گلخانه، محیطی کنترل شده است اما برآورد نیاز آبی به صورت دقیق می تواند موجب بهبود بهره وری آب شود. یافته های پژوهش نشان داد که نیاز آبی غده سیب زمینی در محدوده ۶۹/۲ تا ۷۷ میلی متر در طول دوره رشد ۱۱۵ روزه در داخل گلخانه بود. کمترین میزان نیاز آبی در رقم دزیره با میزان ۶۹/۲ میلی متر و بیشترین در رقم سائنه با میزان ۷۷ میلی متر بود. همچنین میانگین ضریب گیاهی برای سه رقم مورد ارزیابی در چهار دوره رشد اولیه، توسعه، میانی و نهایی به ترتیب ۰/۴۹، ۰/۸، ۱/۱۴ و ۰/۸۷ تعیین شد. نتایج حاصل با مقادیر فائو و سایر منابع معتبر همخوانی مناسبی دارد، هر چند به دلیل طول دوره کوتاه تر رشد به منظور تولید غده سیب زمینی و محیط رشد تفاوت هایی مشاهده شد. در مطالعه حاضر برای تعیین تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن و غده سیب زمینی از

میکرو لایسیمتر استفاده شد و تغییرات وزنی رطوبت بستر در طول فصل رشد واپایش شد تا نزدیک ظرفیت زراعی باشد. با توجه به مشکلات کم آبی در کشور و به ویژه استان اصفهان رویکرد مناسب کشت گلخانه ای در حال توسعه است. نیاز آبی گیاهان در فضای باز از طریق منابع مختلف قابل تخمین است، اما در خصوص نیاز آبی محصولات گلخانه ای نیاز به پژوهش بیشتری وجود دارد. همچنین نیاز آبی غده سیب زمینی نسبت به سیب زمینی کمتر شناخته شده است. لذا، تهیه برنامه آبیاری برای محیط گلخانه ضروری است. در این راستا، تعیین نیاز آبی گیاهان و ضرایب گیاهی محصولات مهم هر منطقه برای مدیریت بهینه آبیاری الزامی است. پیشنهاد می شود نیاز آبی و ضرایب گیاهی مطالعه حاضر در طول یک فصل آبیاری با آبیاری مرسوم در گلخانه مقایسه شود.

منابع

- آمارنامه کشاورزی. ۱۴۰۲. آمارنامه کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی.
- Abd El-Fattah, N.G. and Ibrahim, M.M. 2023. Estimation of crop coefficient and irrigation water requirements of cucumber using the accumulated heat units (Hus) in open field and greenhouse conditions. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 14(10): 341-347.
- Acquaah, G. 2012. Principles of plant genetics and breeding. Blackwell publishing. CIP. Annual Report.
2016. Nutrition in a Climate Changing World.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing

- Canada. 8 ed. (edition) American Book Company, New York. 1251.
- Gonzalez, F.T., Pavek, M.J., Holden, Z.J. and Garza, R. 2023. Evaluating potato evapotranspiration and crop coefficients in the Columbia Basin of Washington state. *Agricultural Water Management*. 286: 108371.
- Groh, J., Pütz, T., Jülich, F., Vanderborght, J. and Vereecken, H. 2015. Estimation of evapotranspiration and crop coefficient of an intensively managed grassland ecosystem with lysimeter measurements. 16th Gumpensteiner Lysimetertagung, Raumberg-Gumpenstein, Austria, pp. 107–112.
- Jansky, S.H. and Spooner, D.M. 2018. The evolution of potato breeding. *Plant Breeding Reviews*. 41: 169–214.
- Jensen, M.E. and Allen, R.G. 2016. Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements. *Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements*. American Society of Civil Engineers (ASCE), New York, USA. <https://doi.org/10.1061/9780784414057>.
- Kadam, S.A., Gorantiwar, S.D., Mandre, N.P. and Tale, D.P. 2020. Crop Coefficient for Potato Crop Evapotranspiration Estimation by Field Water Balance Method in Semi-Arid Region, Maharashtra, India. *Potato Research*. <https://doi.org/10.1007/s11540-020-09484-8>.
- Kukal, M.S., Irmak, S. and Sharma, K. 2020. Development and Application of a Performance and Operational Feasibility Guide to Facilitate Adoption of Soil Moisture Sensors. *Sustainability*. 12 (1): 321.
- Mazahrih, N.T., AL-Zu'bi, Y., Ghnaim, H., Lababdeh, L., Ghananeem, M. and Abu Ahmadeh, H. 2012. Determination actual evapotranspiration and crop coefficients of date palm trees (*Phoenix dactylifera*) in the Jordan Valley. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*. 12(4): 434–443.
- Mukiibi, A., Franke, A.C. and Steyn, J.M. 2023. Determination of crop coefficient and evapotranspiration of potato in a semi-arid climate using canopy state variables and satellite-based NDVI. *Remote Sensing*. 15: 4579.
- Pereira, L.S., Paredes, P. and Jovanovic, N. 2020. Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc crop requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper no 56*. FAO, Rome, Italy.
- Allen, R.G., Wright, J.L., Pruitt, W.O., Pereira, L.S. and Jensen, M.E. 2007. Chapter 8. Water requirement. *Design and operation of farm irrigation systems*. 2nd Edition. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI. p. 208–288.
- Atlin, G.N., Cairns, J.E. and Das, B. 2017. Rapid breeding and varietal replacement are critical to adaptation of cropping systems in the developing world to climate change. *Global Food Security*. 12: 31–37.
- Baştuğ, R., Büyüktaş, D., Büyüktaş, K., Aydınsakir, K., Onus, A. N. and Karaca, C. 2024. Evapotranspiration and crop coefficients of some vegetable crops grown under greenhouse conditions. *Journal of Water and Climate Change*. 15(7): 3236–3259.
- Baudoin, W., Nono-Womdim, R., Lualadio, N., Hodder, A., Castilla, N., Leonardi, C., De Pascale, S. and Qaryouti, M. 2013. Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops. *FAO plant production and protection paper No 217*. Rome, Italy.
- Doležal, F., Hernandez-Gomis, R., Matula, S., Gulamov, M., Miháliková, M. and Khodjaev, S. 2018. Actual evapotranspiration of unirrigated grass in a smart field lysimeter. *Vadose Zone Journal*. 17: 170173.
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. Yield Response to Water. *FAO Irrigation and Drainage, Paper 33*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. 1977. Crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper no 24*. FAO, Rome, Italy.
- FAO. 2008. Crops and livestock products. *FAO statistical database FAOSTAT*.
- FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>).
- FAO. 2020. Aquastat. URL. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>. (Accessed 4 September 2020).
- FAO. 2023. Crops and livestock products. *FAO statistical database FAOSTAT*.
- Fernald, M.L. 1970. *Gray's manual of botany. A handbook of the flowering plants and ferns of the central and northeastern United States and adjacent*

- USBR. 2025. https://www.usbr.gov/pn/agrimet/cropcurves/crop_curves.html
- Wright, J.L. 1981. Crop coefficients for estimates of daily crop evapotranspiration. The proceedings of the irrigation scheduling conference. Proc. American Society of Agriculture Engineers, Chicago, IL. p. 10.
- Wright, J.L. 1982. New Evapotranspiration Crop Coefficients. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 108(1): 57-74.
- WSU. 2025. Washington State University Irrigation Scheduler. Weather.wsu.edu
- WWAP (United Nations World Water Assessment Program). 2016. The United Nations World Water Development Report 2016: Water and Jobs. UNESCO, Paris, France
- approach. Agricultural Water Management. 241: 106357.
- Placide, R., Shimelis, H., Laing, M. and Daphrose, G. 2016. Greenhouse and in vitro screening of sweetpotato genotypes for drought tolerance. Research on Crops. 17(3): 568-578.
- Pruitt, W.O. 1986. Traditional methods, evapotranspiration research priorities for the next decade. American Society of Agricultural Engineering. 86 (2629): 23.
- Rai, R.K., Singh, V.P. and Upadhyay, A. 2017. Chapter 6-Estimating Irrigation Design Parameters, Editor (s): Planning and Evaluation of Irrigation Projects.
- Tyagi, N.K., Sharma, D.K. and Luthra, S.K. 2000. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. Agricultural Water Management. 45: 41-54.

Estimating Water Requirement and Crop Coefficient of Mini-tuber potato of Three Common Varieties in Iran under Greenhouse Cconditions

K. Janghorban¹, J. Olfati², M. Khaledian³, H. Hassanabadi⁴ and Y. Hamidoghli⁵

Abstract

Determining the crop water requirement is a necessary condition for implementing systematic irrigation and improving water productivity in greenhouses, which is essential given the country's water resource limitations and their intensification due to mismanagement and climate change. The aim of the present study was to determine the water requirement and crop coefficients of three mini-tuber potato varieties in greenhouse conditions in Minadasht County, Isfahan Province. For this purpose, three potato varieties, Sante, Agria, and Desire, were cultivated in microlysimeters with the aim of producing mini-tubers along with grass in three replications in 2021, and by maintaining the daily moisture content of the cultivation bed near the field capacity, the water requirement was determined during the growing season. Also, the crop coefficient of the three potato mini-tuber varieties was calculated at different growth stages. The results showed that the water requirement of mini-tuber potato varieties for the three studied varieties was in the range of 69.2 to 77.0 mm during the growth period. The average crop coefficient for the three studied cultivars in the four growth periods of initial, development, mid-season, and late-season were 0.49, 0.8, 1.14, and 0.87, respectively. Considering that Isfahan province, like many parts of the country, has severe water resource limitations, in greenhouses, despite being a controlled environment in terms of water and nutrients, careful observance of water requirements at different stages of plant growth increases the productivity of water and other production resources.

Keywords: Controlled Environment, Evapotranspiration, Microlysimeter, Mini-tuber

¹ Ph.D. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan; P.O.BOX 41635-3756, Rasht, Iran

² Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Guilan, Iran

³ Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan; P.O.BOX 41635-3756, Rasht, Iran, and Department of Water Engineering and Environment, Caspian Sea Basin Research Center. (*- Corresponding Author Email: khaledian@guilan.ac.ir)

⁴ Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

⁵ Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Guilan, Iran

Received: 14 Aug 2025

Accepted: 27 Oct 2025