بهره‌وری آب ژنوتیپ‌های مختلف مینی‌تیوبر سیب‌زمینی تحت مدیریت آبیاری بر اساس نیاز آبی در مقایسه با آبیاری مرسوم در گلخانه

کبری جانقربان[1]، جمالعلی الفتی[2]، محمدرضا خالدیان[3*]، حسن حسن‌آبادی[4] و یوسف حمیداوغلی[5]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

۳*- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان و گروه پژوهشی مهندسی آب و محیط زیست پژوهشکده حوزه آبی دریای خزر، رشت 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

دریافت: بازنگری: پذیرش: انتشار:

چکیده

شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به کم‌آبیاری و معرفی آن‌ها به بهره‌برداران و پژوهش‌گران راهکاری مناسب برای افزایش بهره‌وری آب آبیاری است. هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی ۱۹ ژنوتیپ سیب‌زمینی در دو سطح آبیاری بر اساس نیاز آبی محاسبه شده و آبیاری مرسوم گلخانه در سال ۱۴۰۰ و معرفی ژنوتیپ‌های برتر بر اساس صفات عملکردی، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری بود. این پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی شامل دو سطح آبیاری، ۱۹ ژنوتیپ و سه تکرار بود. نتایج نشان داد که اثر آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها بر تعداد غده تجاری در بوته، وزن تک غده، وزن تمام غده‌های یک بوته، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری معنی‌دار بود ($p<0/01$). شاخص‌های تعداد غده تجاری در بوته و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری برای تعیین ژنوتیپ‌های مناسب و نامناسب مدنظر قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های AD15، AD2 و AD50 با ۲۲-۱۶ مینی‌تیوبر در بوته و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری ۱۳۰-۹۵ میلیون ریال بر مترمکعب آب آبیاری بهترین انتخاب بودند. ژنوتیپ‌های AD40، AD35 و دزیره با ۸-۳ مینی‌تیوبر در بوته و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری ۴۸-۱۹ میلیون ریال بر مترمکعب آب آبیاری انتخاب نامناسبی با توجه به شرایط موجود در پژوهش بودند. استفاده از ژنوتیپ‌های معرفی شده و اعمال آبیاری بر اساس نیاز آبی موجب بهبود عملکرد، صرفه‌جویی در مصرف آب و بهبود بهره‌وری آب و درآمد گلخانه‌دار خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: آبیاری قطره‌ای، عملکرد، نیاز آبی.

مقدمه

بخش کشاورزی یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان آب در بسیاری از مناطق جهان است و همین امر سبب شده است که خشک‌سالی، صنعت کشاورزی در ۴۵ درصد مناطق جهان را تحت تأثیر قرار دهد. کشاورزی آبی تنها ۲۰ درصد زمین‌های زیر کشت جهان را تشکیل می‌دهد و این میزان تنها ۴۰ درصد غذای مردم جهان را تأمین می‌کند (FAO, 2020). سایر غذای مورد نیاز از طریق کشت دیم تأمین می‌شود اما کشت دیم به‌دلیل غیرقابل‌پیش‌بینی بودن بارندگی منجر به تنش خشکی و در نهایت عملکرد پایین می‌شود (FAO, 2020). طبق گزارش‌های سازمان ملل در سال ۲۰۱۷ جمعیت جهان در سال ۲۰۱۵ حدود ۷/۴ میلیارد بود و 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 قابل‌توجهی برای غذا می‌شود. هم‌زمان با افزایش نیاز به غذا، نیاز به آب در بخش کشاورزی و غیر کشاورزی نیز افزایش خواهد داشت (O'Connell, 2017). چالش تغذیه افراد بیشتر با همان منابع آبی گذشته تنها با افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی تحت تنش، قابل‌حل است. بهره‌وری آب از نسبت میزان ماده خشک تولید شده یا عملکرد تولید شده به میزان آب مصرفی به دست می‌آید (Wang et al., 2018). با افزایش بهره‌وری آب، در واقع زیست توده بیشتری در نتیجه مصرف آب از طریق تبخیر و تعرق تولید می‌شود (Shafaroodi et al., 2020). تقویت ژنتیکی و به‌نژادی یکی از راهکارهای مهم در افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی در شرایط تنش خواهد بود. سیب‌زمینی گیاهی با بهره‌وری آب پایین است، که یکی از دلایل آن سامانه ریشه‌ای کم عمق و حساسیت شاخ و برگ آن به کمبود آب است (FAO, 2020; Neysi et al., 2025; Romero et al., 2017)؛ بنابراین به‌نژادی با هدف

افزایش عملکرد در واحد آب مصرفی یکی از راهکارهای افزایش بهره‌وری سیب‌زمینی است.

به‌منظور اصلاح سیب‌زمینی در جهت تحمل شرایط کم‌آبی، استفاده از کشت گلخانه‌ای با کاهش هزینه و زمان انتخاب ژنوتیپ‌های برتر به کشت مزرعه اولویت دارد (Atlin et al., 2017; Placide et al., 2016). سیستم ریشه‌ای ضعیف با عمق رشد کم سیب‌زمینی (طول ۰/۵ تا ۱ متر در مزرعه) یکی از عوامل مهم در کاهش کشت سیب‌زمینی در مناطق با آب محدود است (Vos and Groenwold, 1986). حدود ۸۵ درصد از کل طول ریشه در عمق ۰/۳ متر بالای خاک گسترش پیدا می‌کند. در واقع طول ریشه کم سیب‌زمینی نسبت به واحد سطح سبب شده است که گیاه سیب‌زمینی توانایی جذب آب از نقاط دورتر را نداشته باشد (Gregory and Simmonds, 1992)، همین امر کاهش عملکرد و صفات عملکردی را در پی دارد (Li et al., 2019). از سویی دیگر ریشه سیب‌زمینی نسبت به سایر گیاهان قدرت جذب آب کمتری از خاک دارد Weisz et al (1994) و این دو ویژگی گیاه سیب‌زمینی سبب شده است که این گیاه به‌شدت مستعد حساسیت به شرایط کم‌آبی و خشکی باشد. رشد اولیه و تشکیل غده به مقدار زیادی آب نیاز دارد و در صورتی‌که در این مرحله گیاه دچار تنش کم‌آبی شود بهبود رشد گیاه با مشکل مواجه خواهد شد (Deblonde and Ledent, 2001).

مطالعه‌های کمی در مورد اثرات تنش طولانی‌مدت آب روی سیب‌زمینی وجود دارد اما مطالعه‌های گسترده‌ای در رابطه با کمبود کوتاه‌مدت انجام شده است. تنش خشکی بلندمدت سبب مرگ زودرس گیاه می‌شود، در حالی‌که تنش کوتاه‌مدت خشکی در فواصل رشد گیاه بر ماده خشک و عملکرد گیاه تأثیرگذار است (Neumann, 2008). در واقع تنش با کاهش رشد ساقه‌ها و برگ‌ها، منجر به کاهش تاج پوشش، شاخص سطح برگ، زیست‌توده اندام هوایی و در نهایت میزان ماده خشک می‌شود (Albiski et al., 2012; Anithakumari et al., 2012). البته بایستی توجه داشت که برای هر منطقه باید مقدار آبیاری مطلوب از طریق آزمایش‌های محلی تعیین شود، هر چند نیاز به هزینه بالا و صرف وقت زیاد داشته باشد (Ahmadee et al., 2021). با توجه به کمبود آب، بروز خشکسالی و تشدید این دو در اثر تغییر اقلیم در ایران، اهمیت تعیین مقدار مطلوب آبیاری سیب‌زمینی و بهینه‌سازی برنامه آبیاری دو چندان می‌شود (Ebrahimipak et al., 2019).

در شرایط تنش خشکی در چرخه تقسیم سلولی، فعالیت و ساختار دیواره غشا و دیواره سلولی، متابولیسم سلول، تجمع مواد فعال اسمزی، اسمولیت‌ها، محافظ‌های اسمزی و متابولیسم کربوهیدرات تغیر ایجاد می‌شود (Bartels and Sunkar, 2005). چنین تغییراتی نیاز به تنظیم یا مسیرهای متابولیکی برای دست‌یابی به یک حالت هموستاتیک جدید دارد (Mittler, 2006). این تغییرات باعث ایجاد پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی شامل بسته شدن روزنه، کاهش رشد سلول و فتوسنتز و در نهایت فعال شدن تنفس می‌شود (Shinozaki and Yamaguchi-Shinozaki, 2007). توانایی غلبه بر تنش خشکی به ژنوتیپ وابسته است به‌گونه‌ای که در ژنوتیپ‌های حساس کاهش آب بافت گیاهی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه تأثیر گذاشته و گیاه دچار تنش می‌شود. در مقابل، گونه‌های مقاوم و متحمل تنش، دارای ویژگی‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی خاصی هستند، به‌گونه‌ای که این گیاهان حتی در شرایط آب محدود می‌توانند درجه بالایی از آب بافت را حفظ کنند و از بروز تنش جلوگیری کنند (Bartels and Sunkar, 2005).

سیب‌زمینی یکی از محصولات راهبردی کشور است که نسبت به مدیریت آبیاری حساسیت بالایی دارد. از طرفی کشور ایران در منطقه‌ای خشک قرار گرفته که با تشدید اثرات منفی تغییر اقلیم به‌شدت با چالش دسترسی به منابع آب مواجه است. بنابراین، تعیین مقدار مناسب و بهینه آب آبیاری که ضمن حفظ سطح مطلوب عملکرد سبب صرفه‌جویی در مصرف آب شود، ضروری است. تعیین نیاز آبی سیب‌زمینی و بهره‌وری آب آبیاری موضوع پژوهش‌های زیادی بوده است (Neysi et al., 2025). Doorenbos و Kassam (1979) مقدار ۵۰۰ تا ۷۰۰ را گزارش کردند. Karam et al. (2014) ۵۰۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر را پیشنهاد دادند. Paredes et al. (2018) برای جنوب ایتالیا با میزان بارندگی فصلی ۱۸۱ تا ۲۷۸ میلی‌متر، مقدار ۲۳۷ تا ۳۳۰ میلی‌متر را گزارش کردند. Neysi et al (2025) نیاز آبیاری سیب‌زمینی در کرمانشاه را ۹۷۵ میلی‌متر (تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و بهره‌وری آب آبیاری را ۳/۴ کیلوگرم بر متر مکعب آب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای با تیپ بود. Shafaroodi et al (2020) بهره‌وری آب آبیاری سیب‌زمینی را ۶/۱۱ کیلوگرم بر متر مکعب آب آبیاری با مصرف ۱۰۹۵۰ متر مکعب در هکتار در روش آبیاری جویچه‌ای در اردبیل گزارش کردند.

از یک سو از نیمه دوم قرن بیستم، ریزغده‌ها جزء اساسی تولید سیب‌زمینی بذری بوده است و تولید ریزغده‌ها راهبرد اصلی برای به‌دست آوردن سیب‌زمینی‌های بذری پیش‌پایه عاری از ویروس در سیستم‌های رسمی تولید بذر در جهان است (Forbes et al., 2020). این در حالی است که هیچ پژوهشی برای تعیین نیاز آبی مینی‌تیوبر سیب‌زمینی و یا بهره‌وری آبیاری در این مرحله از تولید بذر در شرایط گلخانه انجام نشده است. از سویی دیگر کشت‌های گلخانه‌ای برای تأمین آب مورد نیاز به منابع آب زیرزمینی متکی هستند که متأسفانه بسیاری از گلخانه‌های کشور در دشت‌های ممنوعه قرار گرفته و بایستی در برداشت از منابع آب زیرزمینی ملاحظات سخت‌گیرانه‌ای را رعایت کرد. بنابراین، تعیین نیاز آبی محصولات گلخانه‌ای و مدیریت اصولی و علمی آبیاری الزامی است. اما، در حال حاضر در بسیاری از گلخانه‌ها، آبیاری به‌صورت اصولی انجام نمی‌شود و مبنای درستی برای آبیاری لحاظ نمی‌شود. مقدار بهینه آبیاری سیب‌زمینی در بازه گسترده‌ای توسط پژوهشگران در

مناطق مختلف گزارش شده است (Doorenbos and Kassam, 1979; Karam et al., 2014; Paredes et al., 2018; Shafaroodi et al., 2020). این امر نشان دهنده لزوم تعیین محلی مقدار نیاز آبی این گیاه است. از طرفی مقدار نیاز آبی در فضای گلخانه با فضای باز و همچنین برای سیب‌زمینی خوراکی و مینی‌تیوبر سیب‌زمینی تفاوت دارد. هدف مطالعه حاضر، مقایسه آبیاری مبتنی بر محاسبه نیاز آبی مینی‌تیوبر سیب‌زمینی در گلخانه با آبیاری مرسوم است. افزون بر این، اثر تفاوت ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه در مدیریت آبیاری نیز مدنظر قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو مرحله در گلخانه پلاستیکی با ارتفاع ۴/۵ متر واقع در شهرستان میانداشت در استان اصفهان انجام گردید. مرحله اول این پژوهش با هدف تعیین Kc سه رقم سیب‌زمینی با نام‌های آگریا، سانته و دزیره، با استفاده از نیاز آبی چمن، در پاییز سال ۱۳۹۹ انجام شد (Janghorban et al., 2025). در مرحله بعد با کمک Kc به‌دست آمده در مرحله قبل، ژنوتیپ‌های حاصل از تلاقی آگریا و دزیره آبیاری شدند و عملکرد هر ژنوتیپ اندازه‌گیری شد.

به‌منظور انجام مرحله اول آزمایش ۱۲ میکرولایسیمتر از جنس PVC، با قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر تهیه شد. بستر کشت انتخاب شده در این مرحله از آزمایش ترکیب کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۱:۱ بود. برای اندازه‌گیری وزن اشباع هر بستر ابتدا وزن خالی هر میکرولایسیمتر اندازه‌گیری شد و سپس بستر تهیه شده با کمک یک پیمانه به هر گلدان اضافه گردید تا هر بستر تقریباً میزان مواد یکسانی داشته باشند. برای تعیین وزن هر میکرولایسیمتر در شرایط ظرفیت مزرعه، هر ۱۲ میکرولایسیمتر به مدت ۴۸ ساعت در ظروف حاوی آب قرار گرفتند. به‌منظور جلوگیری از تبخیر آب، روی سطح هر میکرولایسیمتر یک پوشش پلاستیک گذاشته شد. بعد از گذشت ۴۸ ساعت، میکرولایسیمترها 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 ۰/۱ گرم وزن شد و به‌عنوان وزن گلدان در حد ظرفیت مزرعه تا پایان آزمایش انتخاب شد. سپس در سه عدد از آن‌ها چمن اسپورت کشت گردید. کشت غده‌های سیب‌زمینی تا رسیدن چمن به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متری به تعویق افتاد. پس از آماده شدن چمن‌ها، غده‌های سیب‌زمینی هر سه رقم با تکرار سه میکرولایسیمتر کشت شدند. با شروع جوانه‌زنی غده‌ها داده‌برداری آغاز گردید. در طی دوران کشت، از دماسنج بیشینه/کمینه و دماسنج خشک/تر برای اندازه‌گیری دما و رطوبت گلخانه استفاده گردید. هر روز کاهش وزن میکرولایسیمترها با کمک ترازوی با دقت ۰/۱ گرم یادداشت گردید و به میزان کاهش وزن مجدداً آبیاری صورت گرفت تا همواره میکرولایسیمترها در حالت ظرفیت مزرعه باقی بمانند. در صورت وجود زه‌آب در زیر میکرولایسیمترها، وزن آب اندازه‌گیری شد و از میزان آب روز قبل کاسته شد. سپس با استفاده از تبخیروتعرق چمن به‌عنوان گیاه مرجع (ET_0) و ضریب گیاهی سیب‌زمینی (Kc) Allen et al (1998)، میزان آبیاری ارقام مختلف سیب‌زمینی (ETc) مطابق رابطه (۱) محاسبه و آبیاری انجام شد (Omidi et al., 2018).

$$ETc=Kc\times ET_0 \qquad (۱)$$

دوره رشد سیب‌زمینی در زمین کشاورزی با توجه به منطقه و رقم بین ۱۱۵ روز تا ۱۴۰ روز می‌باشد (Allen et al., 1998). با توجه به کوتاه شدن دوره کشت در گلخانه، طول دوره ۱۱۵ روز برای رشد هر سه رقم سیب‌زمینی انتخاب گردید. پس از گذشت دوره ۱۱۵ روزه بر اساس آبیاری انجام شده میزان Kc هر رقم در شرایط گلخانه محاسبه شد. ضریب گیاهی مینی‌تیوبر سیب‌زمینی برای مرحله اولیه، میانی و انتهایی بر اساس مطالعه Janghorban et al. (2025) به‌ترتیب ۰/۴۹، ۱/۱۴ و ۰/۸۷ بود.

مرحله دوم: در بهمن ماه سال ۱۴۰۰ که با هدف بررسی اثر آبیاری بر اساس ضریب گیاهی به‌دست آمده بر عملکرد مینی‌تیوبر در گلخانه انجام شد، گیاهچه‌های کشت بافتی ارقام آگریا و دزیره به عنوان والدین (به ترتیب مادری و پدری) و ۱۷ نتاج حاصل از آن تلاقی مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این مرحله از آزمایش در سه میکرولایسیمتر که مانند مرحله قبل آماده شده بودند چمن کشت شد. پس از آنکه چمن‌ها به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر رسیدند گیاهچه‌های کشت بافتی در بسترهای کشت با حجم ۵۰×۲۰×۳۰ سانتی‌متری و در سه تکرار کشت شدند. پس از سازگاری گیاهچه‌های تولیدی، آبیاری در دو سطح انجام شد. سطح اول آبیاری بر اساس میزان آبیاری رایج در گلخانه‌های هیدروپونیک تولید مینی‌تیوبر سیب‌زمینی و سطح دوم، بر اساس رابطه (۱) انجام شد که ضریب گیاهی آن در مرحله اول تعیین شده بود و تبخیروتعرق گیاه مرجع در طول فصل کشت بااستفاده از میکرولایسیمتر حاوی چمن تعیین می‌شد.

در آبیاری رایج گلخانه‌های تولید مینی‌تیوبر سیب‌زمینی در فصل زمستان دو نوبت آبیاری انجام می شود. مبنای این روش کاملاً تجربی است. آبیاری اول ساعت هشت صبح و آبیاری دوم ساعت ۱۲ ظهر و هر نوبت از آبیاری سه دقیقه طول می‌کشد. مشکل اصلی این مدیریت آبیاری، عدم توجه به مراحل رشدی گیاه و عدم رعایت تفاوت نیاز آبی گیاه در این دوره است. این مدیریت آبیاری صرفاً به دلیل ساده و ثابت بودن برنامه آبیاری توسط گلخانه‌داران به‌کار گرفته می‌شود. اما، هدررفت آب ناشی از بیش‌آبیاری و حتی در مواردی بروز تنش کم‌آبی به‌دلیل عدم توجه به نیاز آبی گیاه قابل پیش‌بینی است. با توجه به اینکه برای هر گیاه دو قطره‌چکان در نظر گرفته شده بود و میزان خروج آب از هر قطره‌چکان در هر دقیقه که ۲۲ میلی‌لیتر محاسبه شد، مجموعا در هر روز ۲۶۴ میلی‌لیتر آب آبیاری برای هر بوته اعمال شد. در روش آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه، مقادیر محاسبه شده برای آبیاری نصف شده و در دو نوبت

صبح و ظهر اعمال شد. در کشت زمستانه سیب‌زمینی در گلخانه به‌دلیل طول روز بلندتر آخر دوره کشت، طول دوره کشت کوتاه‌تر از دوره کشت پاییزه است. بنابراین، طول دوره رشد به یک دوره ۹۹ روزه کاهش یافت.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی شامل دو سطح آبیاری بر اساس نیاز آبی محاسبه شده و آبیاری مرسوم در گلخانه، ۱۹ ژنوتیپ و سه تکرار اجرا شد. برای تأمین آب و مواد مغذی مورد نیاز گیاه از یک سامانه آبیاری قطره‌ای استفاده شد. گیاهچه‌های کشت بافتی پس از سازگاری در سینی‌های نشا، به بسترهای اصلی منتقل شدند. بستر اصلی با یک کارتن پلاست ساخته شد به گونه‌ای که فضای بستر کشت به‌ترتیب طول، عرض و عمق، ۲۰، ۵۰ و ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (شکل ۱). غده‌های تجاری (قطر بالای ۱۵ میلی‌متر) به‌عنوان عملکرد هر ژنوتیپ در هر تیمار آبیاری تعیین شد و ویژگی‌هایی مانند تعداد مینی‌تیوبر در بوته، وزن تک غده و وزن تمام غده‌های یک بوته با استفاده از ترازوی آزمایشگاهی با دقت یک گرم اندازه‌گیری شدند.

مقدار بهره‌وری آب آبیاری با رابطه (۲) محاسبه شد (Khaledian et al., 2011; Najafi et al., 2021).

$$WP = \frac{Y}{I} \qquad (۲)$$

این رابطه، WP: بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y: عملکرد محصول (کیلوگرم بر بوته) و I: آب آبیاری (مترمکعب بر بوته) است.

بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری یا درآمد به ازای فروش غده است که به ازای فروش هر عدد غده در اندازه تجاری با توجه به در قیمت فروش بازار ایران به‌طور میانگین ۷۶۰۰ تومان در سال ۱۴۰۰ محاسبه شد. با در دست داشتن میزان آب آبیاری مصرفی، مقدار درآمد به ازای حجم واحد آب آبیاری مصرف‌شده با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Mohammadpour et al., 2025).

$$EWP = \frac{P}{I} \qquad (۳)$$

در این رابطه، EWP: درآمد به ازای واحد حجم آب آبیاری (ریال بر مترمکعب)، P: درآمد حاصل از فروش محصول (ریال در هکتار) و I: آب آبیاری مصرف‌شده (مترمکعب بر هکتار) هست. بررسی نرمال بودن داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۱) انجام و میانگین داده‌ها توسط آزمون توکی در سطوح متناظر معنی‌داری مقایسه شد. نمودارها به کمک نرم‌افزار اکسل تهیه شد و از خطای استاندارد (SE) برای نشان دادن میله خطا (اوربار) استفاده شد.



Fig. 1 - Images of the stages of planting, growing, and harvesting potatoes

شکل ۱ -تصاویری از مراحل کاشت، داشت و برداشت سیب‌زمینی

نتایج و بحث

آنالیز واریانس صفات مورد مطالعه در دو تیمار آبیاری مرسوم و آبیاری محاسباتی ۱۹ ژنوتیپ مختلف مینی‌تیوبر سیب‌زمینی در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج نشان داد که اثر آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر تمامی صفات مورد مطالعه شامل: تعداد غده در بوته، وزن تک غده، وزن تمام غده‌های یک بوته، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۱$). تفاوت معنی‌دار دو مدیریت آبیاری با توجه به تفاوت مبنای محاسباتی قابل پیش‌بینی بود. نتایج نشان داد که تنوع ژنتیکی ایجاد شده در ژنوتیپ‌های مورد بررسی سبب بروز واکنش‌های متفاوت نسبت به دو مدیریت آبیاری به‌کار رفته شده است. نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین از جمله Neysi et al. (2025) روی رقم آگریا و Li et al. (2019) روی شش رقم رایج در چین، در خصوص تنوع و تفاوت معنی‌دار عملکرد و اجزای آن بین مدیریت‌های مختلف آبیاری و ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی هم‌راستا است. در این پژوهش‌ها نشان داده شد که واکنش ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب صحیح روش آبیاری با تاخیر در پیری و افزایش سبزی برگ همبستگی دارد.

براساس نتایج ارائه شده در جدول (۱)، مدیریت آبیاری بر تعداد مینی‌تیوبر قابل فروش اثر معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که آبیاری محاسباتی سبب افزایش متوسط تعداد غده قابل فروش از ۱۱/۴ به ۱۲ در بوته شد ($p<۰/۰۱$). عدم تامین آب مورد نیاز در طول دوره تشکیل غده موجب کاهش تعداد غده می‌شود (Samaee et al., 2017; Shafaroodi et al., 2020). در پژوهش حاضر در تیمار آبیاری مبتنی بر محاسبه نیاز آبی در مقایسه با آبیاری مرسوم، تأمین به اندازه نیاز واقعی گیاه موجب افزایش معنی‌دار تعداد غده در بوته شده است. Kassu et al (2017) نیز گزارش کردند که آبیاری به‌موقع باعث بهبود تعداد غده قابل فروش می‌شود. مدیریت آبیاری محاسباتی بر وزن تک غده سیب‌زمینی اثر معنی‌داری داشت و با یک کاهش ۲۰ درصدی، متوسط وزن یک غده از ۱۶/۸ گرم به ۱۳/۴ گرم رسید ($p<۰/۰۱$). هر چند اندازه غده در بحث تجاری مهم‌تر است و اندازه غده در آبیاری مبتنی بر نیاز آبی مطلوب بود و خللی در بحث فروش ایجاد نکرد. شی و همکاران گزارش کردند که در تیمارهای با تعداد غده درشت بیشتر، علت افزایش قطر غده در واقع کاهش تعداد غده‌ها است که بر تعداد غده قابل فروش اثر دارد (Shi et al., 2015). اثر آبیاری محاسباتی بر متوسط وزن تمام غده‌های یک بوته معنی‌دار بود و با یک کاهش ۱۹ درصدی، متوسط وزن تمام غده‌های یک بوته از ۱۷۷/۵ گرم به ۱۴۳/۵ گرم رسید ($p<۰/۰۱$). اثر اجزای عملکرد شامل تعداد و میانگین وزن یک غده بر عملکرد کل بوته در پژوهش‌های پیشین نیز مشاهده شده است(Shafaroodi et al., 2020; Silva et al., 2019). هر چند تعداد غده در آبیاری مبتنی بر نیاز آبی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ولی اختلاف عددی آن‌ها کم بود. این امر به همراه اثر میانگین وزن موجب افزایش عملکرد کل بوته در آبیاری مرسوم شد. اثر مدیریت آبیاری محاسباتی بر بهره‌وری آب آبیاری نیز معنی‌دار بود و با یک افزایش ۴۰ درصدی سبب افزایش متوسط این شاخص از ۱۳/۶ به ۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب شد ($p<۰/۰۱$). اثر مدیریت آبیاری بر بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری نیز معنی‌دار بود($p<۰/۰۱$). مدیریت آبیاری محاسباتی با یک افزایش ۸۲ درصدی سبب افزایش بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری از ۶۶/۵ میلیون ریال بر مترمکعب به ۱۲۰/۷ میلیون ریال بر مترمکعب شد. یافته‌های حاضر با نتایج پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد (Shafaroodi et al., 2020; Neysi et al., 2025). با توجه به اینکه درآمد از طریق فروش مینی‌تیوبر بر اساس تعداد کسب می‌شود، بنابراین نه تنها اعمال آبیاری محاسباتی سبب کاهش درآمد گلخانه‌دار نخواهد شد بلکه درآمد به ازای واحد آب مصرفی افزایش چشمگیری خواهد داشت که یکی از پیشران‌های اساسی در اتخاذ مدیریت‌های علمی توسط کشاورزان است.

شکل (۲) مقایسه میانگین اثر ساده ژنوتیپ (میانگین هر دو تیمار آبیاری) بر میانگین وزن کل غده‌ها در بوته را نشان می‌دهد. بیشترین وزن کل غده‌ها در بوته در ژنوتیپ AD15 با ۳۰۳ گرم بر بوته مشاهده شد. در مرتبه بعد دو ژنوتیپ AD52 و AD50 با عملکرد به‌ترتیب ۲۶۴ و ۲۴۶ گرم بر بوته قرار داشتند که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین وزن کل غده‌ها در بوته در رقم دزیره و ژنوتیپ AD40 با عملکرد به‌ترتیب ۲۷/۵ و ۳۵ گرم بر بوته مشاهده شد که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. با اصلاح سیب‌زمینی و استفاده از دو رقم دزیره و اگریا به عنوان والد، عملکرد از به ترتیب ۲۷/۵ و ۲۰۰/۵ گرم بر بوته در این دو رقم به ۳۰۳ گرم در بوته در ژنوتیپ AD15 رسیده است. ممکن است ژنوتیپ‌های با سیستم ریشه‌ای بهتر بتوانند آب مورد نیاز خود را بهتر جذب کنند و در نتیجه عملکرد گیاه بیشتر شود (Koech et al., 2015). تفاوت ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بر عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف موثر است (Gervais et al., 2021).

شکل (۳) مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر میانگین وزن یک غده را نشان می‌دهد. بیشترین میانگین وزن یک غده در ژنوتیپ AD81 با ۲۸/۷ گرم اندازه‌گیری شد. در مرتبه دوم ژنوتیپ AD52 با میانیگن وزن ۲۶/۲ گرم قرار داشت که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین میانگین وزن یک غده در ژنوتیپ AD80 با ۵/۱ گرم اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر آبیاری مرسوم و محاسباتی بر عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری ۱۹ ژنوتیپ سیب‌زمینی

Table 1- Analysis of variance of the effect of conventional and computational irrigation on yield and irrigation water productivity of 19 potato genotypes

SOV	df	Square mean				
		Number of tubers	Tuber weight	The weight of all the tubers on a plant	Irrigation water productivity	Economic water productivity
Irrigation	1	0.107**	4.533**	40.073**	734.2**	7.3×1016**
Error a	4	0.001	0.014	0.01	1.164	1.9×1013
Genotype	19	2.81**	4.115**	61.755**	327.7**	7.7×1015**
× Genotype Irrigation	19	0.762**	1.826**	10.17**	60.32**	2.4×1015**
Error b	76	0.003	0.03	0.011	0.137	3.0×1013
(%) C.V.		20	20	20	19	18

ns: not significant, *: significant at the 5% probability level, and **: significant at the 1% probability level.

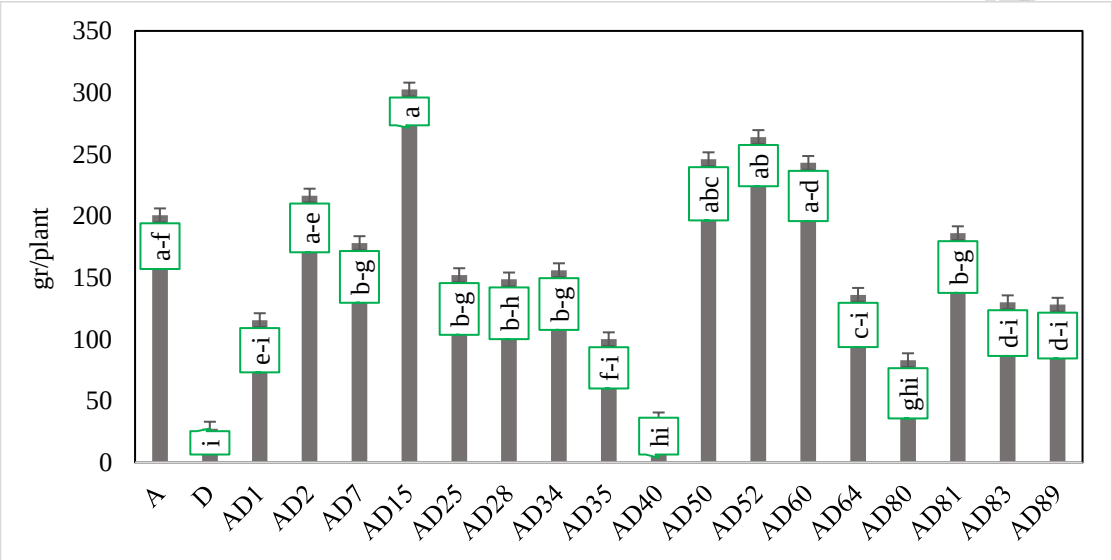


Fig. 2- Mean comparison of genotype effect on the average total weight of tubers per plant (error bars indicate standard error (SE))

شکل ۲- مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر میانگین وزن کل غده‌ها در بوته (میله خطا نشان دهنده خطای استاندارد (SE) است)

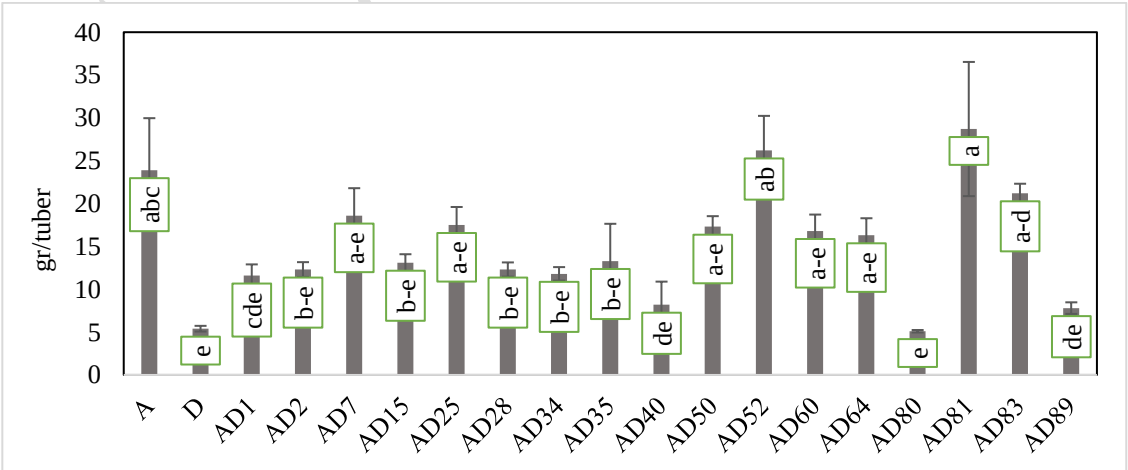


Fig. 3- Mean comparison of genotype effect on the average weight of a tuber (error bars indicate standard error (SE))

شکل ۳- مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر میانگین وزن یک غده (میله خطا نشان دهنده خطای استاندارد (SE) است)

تفاوت میانگین وزن دو ژنوتیپ یاد شده بیش از پنج برابر است. Hamzehpour et al (2023)، گزارش کردند که اختلاف ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی از نظر وزن یک غده تحت اثر پتانسیل تولید آن‌ها نیز هست بنابراین افزون بر اثر آبیاری ویژگی‌های هر ژنوتیپ نیز بر وزن یک غده اثرگذار است.

در شکل (۴) مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر میانگین تعداد غده در بوته ارائه شده است. بیشترین میانگین تعداد غده در بوته در ژنوتیپ AD15 با ۲۳/۸ مینی‌تیوبر در بوته مشاهده شد. در مرتبه دوم دو ژنوتیپ AD2 و AD89 با ۱۷/۳ مینی‌تیوبر در بوته قرار داشتند. کمترین میانگین تعداد مینی‌تیوبر در بوته در ژنوتیپ AD40 با ۴/۸ مینی‌تیوبر در بوته اندازه‌گیری شد. تفاوت میانگین تعداد مینی‌تیوبر در بوته بین AD15 و AD40 بسیار زیاد است.

استفاده از دو رقم اگریا و دزیره به عنوان والد ژنوتیپ AD15 سبب افزایش تعداد مینی‌تیوبر در بوته از به‌ترتیب ۹/۳ و ۶/۳ به ۲۳/۸ مینی‌تیوبر در بوته شده است. این امر نشان‌دهنده اثر مثبت رهیافت اصلاح گیاهان روی درآمد کشاورز و در نتیجه پایداری تولید محصولات کشاورزی است. Elzner et al (2018) تعداد غده در بوته در ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه متفاوت است و تحت کنترل ویژگی‌های ژنتیکی آن ژنوتیپ است (Onder et al., 2015).

شکل (۵) مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر میانگین بهره‌وری آب آبیاری را نشان می‌دهد. بیشترین میانگین بهره‌وری آب آبیاری در ژنوتیپ AD15 با ۲۸/۸ کیلوگرم بر متر مکعب اندازه‌گیری شد. ژنوتیپ AD52 با ۲۷/۵ کیلوگرم بر متر مکعب در مرتبه بعدی قرار گرفت ($p<0.01$). کمترین میانگین بهره‌وری آب در رقم دزیره و ژنوتیپ AD40 با به‌ترتیب ۳/۱ و ۳/۸ کیلوگرم بر متر مکعب مشاهده شد.

اصلاح انجام شده سبب افزایش ۷۸۷ درصدی بهره‌وری آب آبیاری ژنوتیپ AD15 نسبت به والد خود یعنی رقم دزیره شده است. با توجه به اینکه در مرور منابع، مطالعه مشابهی در مورد بهره‌وری آب آبیاری مینی‌تیوبر سیب‌زمینی در گلخانه مشاهده نشد، صرفاً می‌توان با مقادیر گزارش شده سیب‌زمینی خوراکی در فضای باز که در مطالعه‌های پیشین مشاهده شده است مقایسه کرد که به‌طور قابل توجهی مقادیر مطالعه حاضر برتری دارند (Neysi et al., 2025; Shafaroodi et al., 2020).

شکل (۶) مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر میانگین بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری را نشان می‌دهد. بیشترین میانگین بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری در ژنوتیپ AD15 با تقریبا ۱۹۲ میلیون ریال بر متر مکعب مشاهده شد. کمترین میانگین بهره‌وری آب آبیاری در ژنوتیپ AD40 با تقریبا ۴۱/۶ میلیون ریال بر مترمکعب اندازه‌گیری شد. کسب درآمد بالا به ازای واحد آب مصرفی نه تنها از نظر پژوهشگران اهمیت دارد، بلکه با توجه به استفاده اکثر گلخانه‌داران از منابع آب زیرزمینی که برداشت آن همراه با پرداخت هزینه آب‌بها و هزینه پمپاژ است بر درآمد آنها اثرگذار است. با توجه به مطالب یاد شده، معرفی ژنوتیپ‌هایی با بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری مناسب، بر انتخاب آنها توسط کشاورزان مؤثر است.

در شکل (۷) مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میانگین وزن کل غده‌های یک بوته نشان داده شده است. ژنوتیپ AD15 در تیمار آبیاری تجاری بیشترین میانگین وزن کل غده‌های یک بوته را با ۴۰۵ گرم در بوته تولید کرده است. اما ژنوتیپ AD60 در تیمار آبیاری محاسباتی با میانگین وزن کل غده‌های یک بوته با ۲۸۱ گرم در بوته بیشترین تولید را داشت. رقم دزیره با میانگین وزن کل غده‌های یک بوته به‌ترتیب ۲۰ و ۳۵ گرم در بوته کمترین عملکرد را داشت. رقم اگریا نیز عملکرد پایین‌تری نسبت به برخی ژنوتیپ‌های حاصل از تلاقی خود و رقم دزیره داشت که با نتایج Shafaroodi et al. (2020) همراستا است.

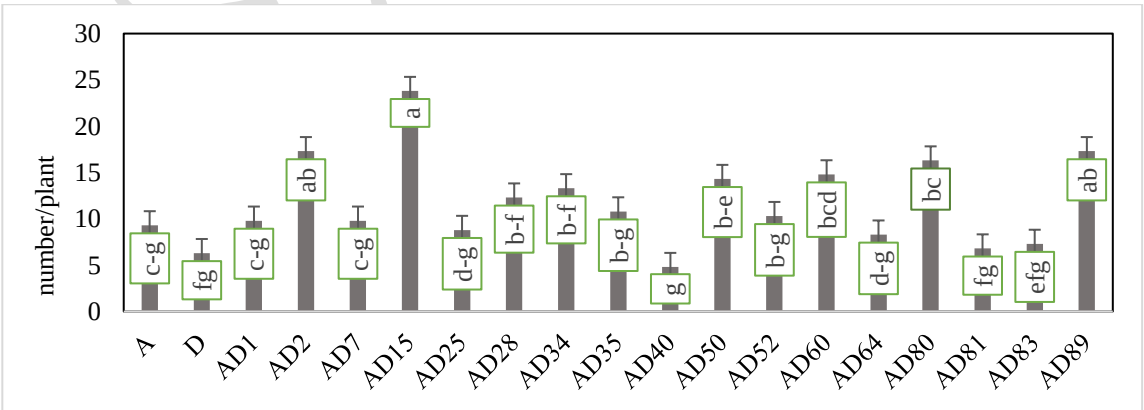


Fig. 4- Mean comparison of genotype effect on the average number of tubers per plant (error bars indicate standard error (SE))

شکل ٤- مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر میانگین تعداد غده در بوته (میله خطا نشان دهنده خطای استاندارد (SE) است)

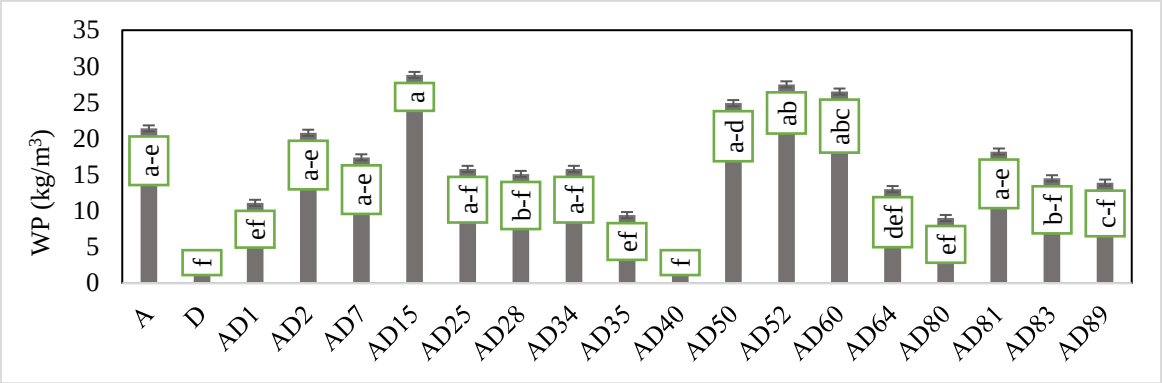


Fig. 5- Mean comparison of genotype effect on average water productivity (error bars indicate standard error (SE))

شکل ۵- مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر میانگین بهره‌وری آب (میله خطا نشان دهنده خطای استاندارد (SE) است)

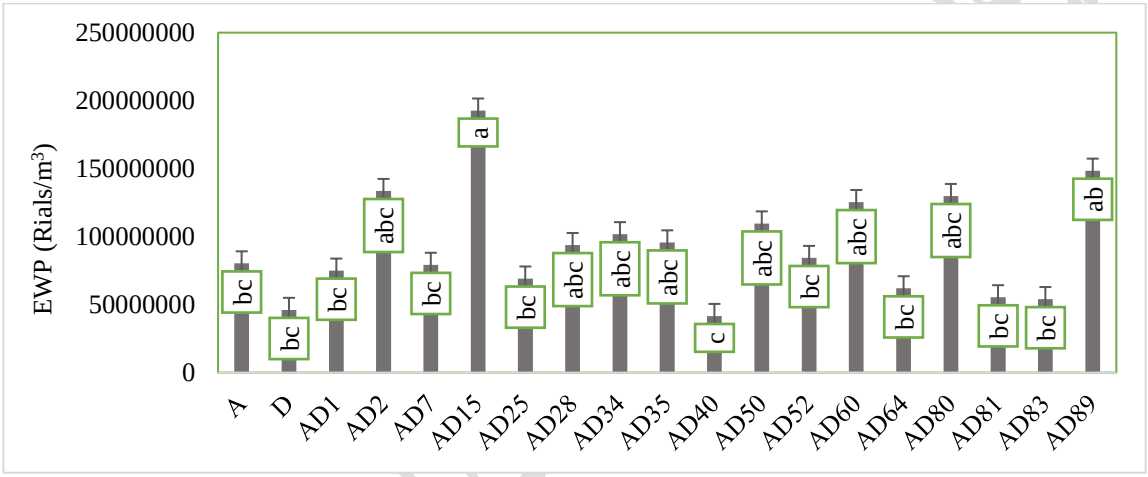


Fig. 6- Mean comparison of genotype effect on the average economic productivity of water (error bars indicate standard error (SE))

شکل ٦- مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر میانگین بهره‌وری اقتصادی آب (میله خطا نشان دهنده خطای استاندارد (SE) است)

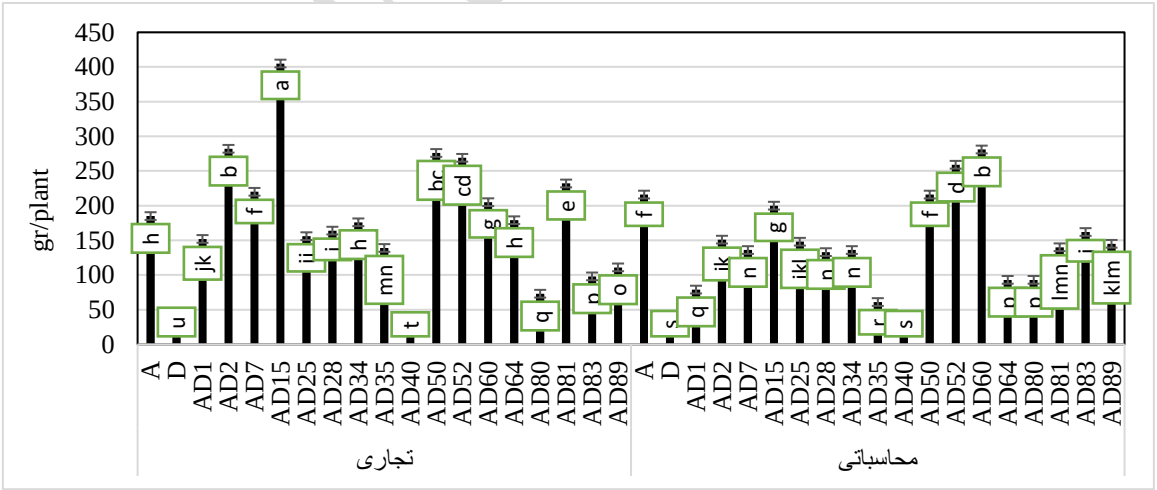


Fig. 7 - Interaction effect of irrigation and genotype on the average total weight of tubers per plant (error bars indicate standard error (SE))

شکل ۷- اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میانگین وزن کل غده‌های یک بوته (میله خطا نشان دهنده خطای استاندارد (SE) است)

شکل (۸) مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میانگین تعداد کل غده‌های یک بوته را نشان می‌دهد. در ژنوتیپ AD15 تحت تیمار آبیاری محاسباتی با ۲۵/۳ بیشترین تعداد مینی‌تیوبر در بوته مشاهده شد (p<۰/۰۱). در مرتبه بعد ژنوتیپ AD89 تحت تیمار آبیاری محاسباتی با ۲۲/۳ مینی‌تیوبر در بوته و ژنوتیپ AD15 در تیمار آبیاری تجاری با ۲۲/۳ مینی‌تیوبر در بوته قرار داشتند که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. اما ژنوتیپ AD40 در تیمار آبیاری تجاری با ۳/۳ مینی‌تیوبر در بوته کمترین تولید را داشته است. عدم تأمین آب مورد نیاز در طول دوره تشکیل غده موجب کاهش تعداد غده می‌شود (Samaee et al., 2017; Shafaroodi et al., 2020). در آبیاری مبتنی بر محاسبه نیاز آبی در مقایسه با آبیاری مرسوم، احتمالا تامین به اندازه نیاز واقعی گیاه موجب در این دوره حساس موجب افزایش تعداد غده در بوته شده است.

در شکل (۹) مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میانگین وزن یک غده ارائه شده است. در ژنوتیپ‌های AD81 تحت تیمار آبیاری تجاری با ۳۷/۹ و ژنوتیپ AD83 تحت تیمار آبیاری محاسباتی با ۳۱/۸ گرم بیشترین میانگین وزن یک غده اندازه‌گیری شد (p<۰/۰۱). رقم دزیره تحت آبیاری تجاری با ۲/۴ گرم کمترین میانگین وزن یک غده را داشت (p<۰/۰۱). بهره‌برداری مناسب از آب با حفظ تعادل آبی گیاه در ژنوتیپ‌های با وزن غده بالاتر به انتقال بهتر شیره پرورده به اندام‌های زایشی گیاه منتج شده است (Zin El-Abedin et al., 2019). در سایر ژنوتیپ‌ها با عملکرد پایین، احتمالا کاهش فتوسنتز و در نتیجه عدم انتقال مواد مغذی به غده‌ها باعث کاهش وزن غده شده است (Silva et al., 2019).

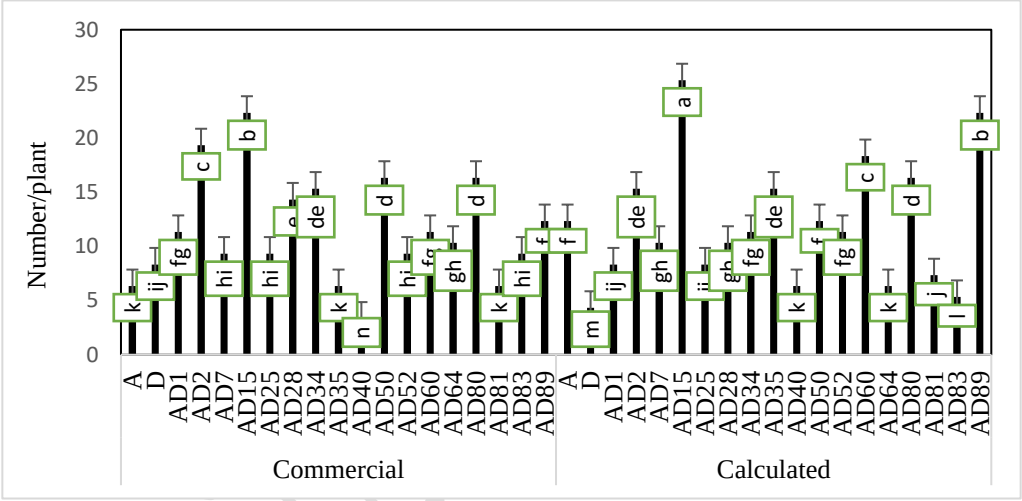


Fig. 8 - Interaction effect of irrigation and genotype on the average number of total tubers per plant (error bars indicate standard error (SE))

شکل ۸- اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میانگین تعداد کل غده‌های یک بوته (میله خطا نشان دهنده خطای استاندارد (SE) است)

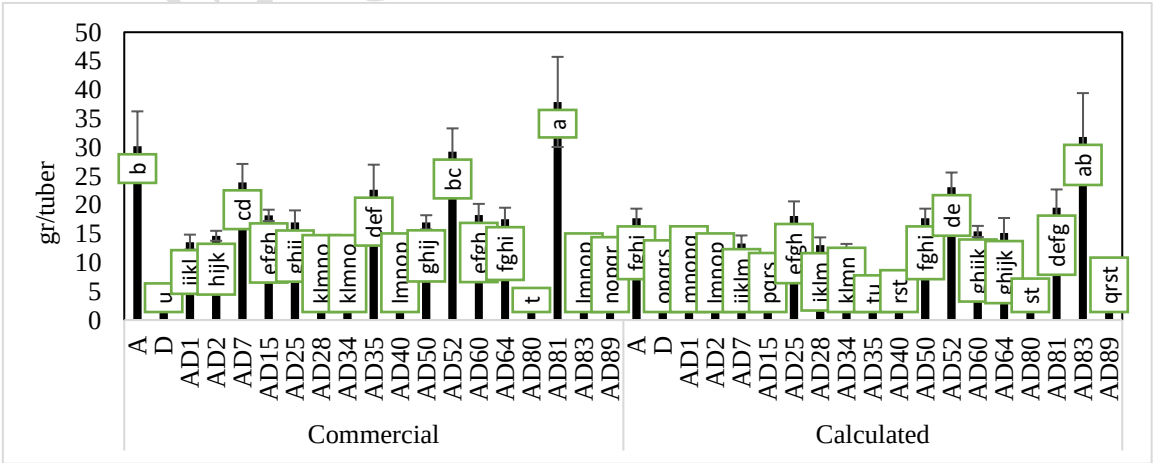


Fig. 9 - Interaction effect of irrigation and genotype on average weight of a tuber (error bars indicate standard error (SE))

شکل ۹- اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میانگین وزن یک غده (میله خطا نشان دهنده خطای استاندارد (SE) است)

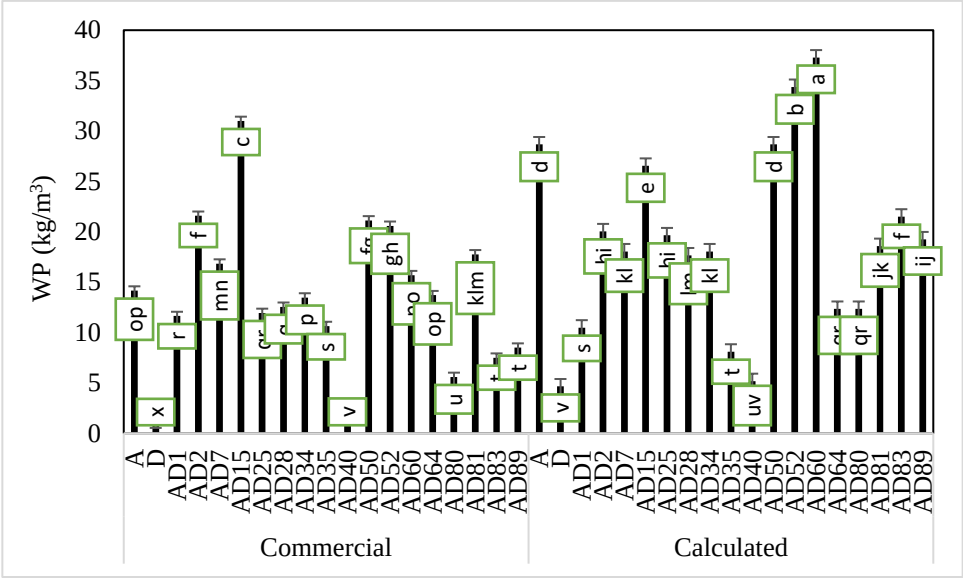


Fig. 10 - Interaction effect of irrigation and genotype on irrigation water productivity (error bars indicate standard error (SE))

شکل ۱۰- اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر بهره‌وری آب آبیاری (میله خطا نشان دهنده خطای استاندارد (SE) است)

شکل (۱۰) مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میانگین بهره‌وری آب آبیاری را نشان می‌دهد. ژنوتیپ AD60 در تیمار آبیاری محاسباتی با ۳۷/۳ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین بهره‌وری آب را داشته است (p<۰/۰۱). در مرتبه بعد، ژنوتیپ AD52 در تیمار آبیاری محاسباتی با ۳۴/۴ کیلوگرم بر مترمکعب قرار داشت (p<۰/۰۱). کمترین بهره‌وری آب آبیاری در رقم دزیره در تیمار آبیاری تجاری با ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد (p<۰/۰۱). بهبود بهره‌وری آب آبیاری وابسته به ژنوتیپ گیاه است (Nouri et al., 2016). Ansari et al (2019) در شرایط مرطوب داخل گلخانه فشار بخار بیشتر از فضای آزاد است و معمولاً بهره‌وری آب مصرفی بالاتر است که با نتایج مطالعه حاضر در مقایسه با فضای باز همراستا است.

شکل (۱۱) مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میانگین بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری را نشان می‌دهد. ژنوتیپ AD15 در تیمار آبیاری محاسباتی با ۲۵۵ میلیون ریال بر مترمکعب بیشترین بهره‌وری اقتصادی آب را داشته است (p<0.01). در مرتبه بعدی، دو ژنوتیپ AD89 و AD60 در تیمار آبیاری محاسباتی با به‌ترتیب ۲۲۵ و ۱۸۵ میلیون ریال بر متر مکعب قرار داشتند که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. ژنوتیپ AD40 در تیمار آبیاری تجاری با ۱۹ میلیون ریال بر مترمکعب کمترین بهره‌وری اقتصادی آب را داشته است (p<0.01).

در شکل (۱۲) کلاس‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی تحت دو تیمار آبیاری محاسباتی و تجاری با توجه به تعداد مینی‌تیوبر تجاری در بوته و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری ارائه شده است. Mirhosseyni et al. (2024) ژنوتیپ‌های مختلف مورد مطالعه خود را در چهار کلاس کاملاً مناسب، مناسب، کمتر مناسب و نامناسب تقسیم‌بندی کردند. برای این کار، متوسط تعداد مینی‌تیوبر تجاری در بوته و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری برای هر ژنوتیپ روی نمودار برده شد. چهار کلاس یاد شده در جهت حرکت عقربه‌های ساعت قابل مشاهده هستند. بر این اساس، چهار ژنوتیپ AD15، AD2، AD50 و AD80 با داشتن بیشترین عملکرد کاملاً مناسب و سه ژنوتیپ AD40، AD35 و AD81 نامناسب کلاس‌بندی شدند. انتخاب مدیریت آبیاری محاسباتی ضمن حفظ سطح عملکرد اقتصادی موجب صرفه‌جویی در مصرف آب، بهبود بهره‌وری آب آبیاری و بهبود بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری شده است. کلاس‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با توجه به بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری می‌تواند اطلاعات کاربردی در اختیار اصلاح‌گران و کشاورزان به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های با بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری مطلوب قرار دهد.

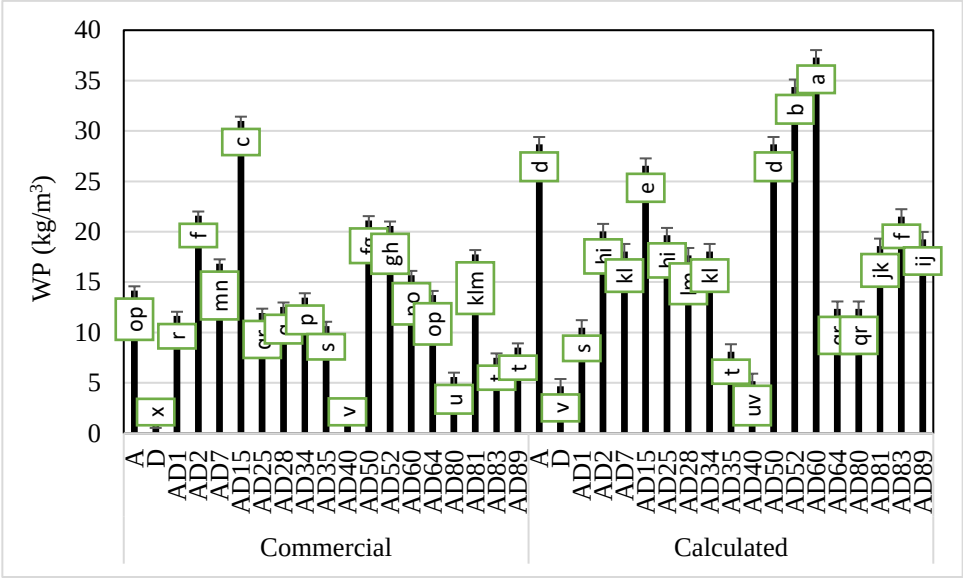


Fig. 11 - Interaction effect of irrigation and genotype on economic efficiency of irrigation water (error bars indicate standard error (SE))

شکل ۱۱- اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری (میله خطا نشان دهنده خطای استاندارد (SE) است)

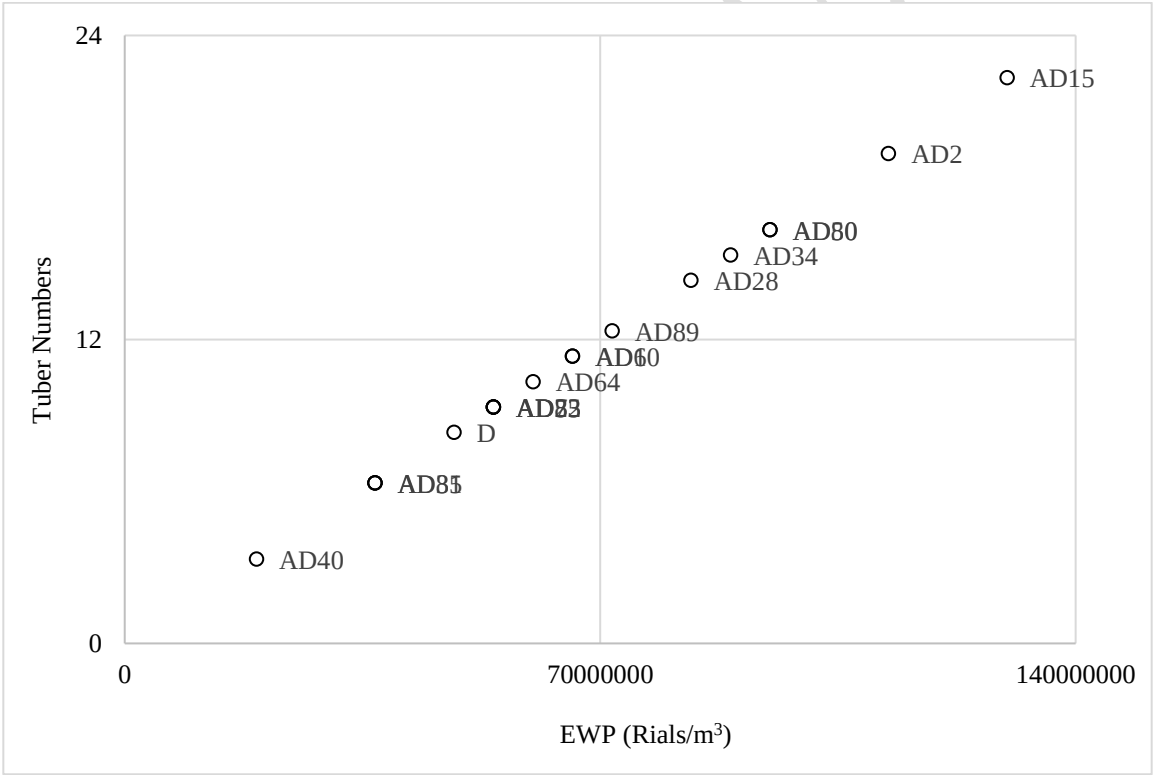


Fig. 12 - Classification of 19 different potato genotypes based on the number of tubers per plant and economic efficiency of irrigation water

شکل ۱۲- کلاس‌بندی ۱۹ ژنوتیپ مختلف سیب‌زمینی بر اساس تعداد غده در بوته و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری

نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر مقایسه دو مدیریت آبیاری شامل: آبیاری مرسوم در یک گلخانه تجاری و آبیاری مبتنی بر محاسبه نیاز آبیاری برای ۱۹ ژنوتیپ مختلف سیب‌زمینی به‌منظور تولید مینی‌تیوبر در گلخانه بود. آبیاری مبتنی بر نیاز آبی در مجموع بر آبیاری مرسوم در گلخانه بر اساس شاخص‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر برتری داشت. افزون بر آبیاری باید به تفاوت‌های ژنوتیپ‌ها از لحاظ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی توجه داشت و بهترین انتخاب‌ها بایستی در اختیار پرورش‌دهندگان مینی‌تیوبر قرار گیرد. با توجه به شاخص‌های تعداد مینی‌تیوبر در بوته و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری برای انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب و نامناسب، ژنوتیپ‌های AD15، AD2 و AD50 با ۲۲-۱۶ مینی‌تیوبر در بوته و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری ۱۳۰-۹۵ میلیون ریال بر مترمکعب آب آبیاری در اولویت انتخاب قرار گرفتند. افزون بر این، ژنوتیپ‌های AD40، AD35 و دزیره با ۸-۳ مینی‌تیوبر در بوته و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری ۴۸-۱۹ میلیون ریال بر مترمکعب آب آبیاری انتخاب نامناسبی با توجه به شرایط پژوهش حاضر بودند. پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی به مدیریت آبیاری به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر صفات عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری موثر بود. بنابراین، می‌توان گفت که ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه پاسخ‌های متفاوتی به مدیریت آبیاری دارند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسندگان هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: کبری جانقربان، جمع‌آوری داده‌ها.
نویسنده دوم: جمالعلی الفتی، بررسی نتایج.
نویسنده سوم: محمدرضا خالدیان، نگارش مقاله.
نویسنده چهارم: حسن حسن‌آبادی، بررسی نتایج.
نویسنده پنجم: یوسف حمیداوغلی، بررسی نتایج.

تقدیر و تشکر

با تشکر از شرکت پرتیکان بذر گستر به جهت پشتیبانی مالی و معنوی که در انجام این پژوهش داشته‌اند.

References

1- Ahmadee, M., Ghanbarpouri, M.A. and Eigdernezhad, A., 2021 Applied irrigation water of wheat using sensitivity analysis and evaluation of AquaCrop. *Journal of Water Management in Agriculture,* 8(1), pp. 15-30. dor: 20.1001.1.24764531.2021.8.1.2.0.

2- Anithakumari, A. M., Nataraja, K.N., Visser, R.G. and van der Linden, C.G., 2012. Genetic dissection of drought tolerance and recovery potential by quantitative trait locus mapping of a diploid potato population. *Molecular Breeding,* 30, pp. 1413-1429. doi: 10.1007/s11032-012-9728-5.

3- Albiski, F., Najla, S., Sanoubar, R., Alkabani, N. and Murshed, R., 2012. In vitro screening of potato lines for drought tolerance. *Physiology and Molecular biology of plants*, 18, pp. 315-321. doi: . https://doi.org/10.1007/s12298-012-0127-5.

4- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and smith, M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. In *FAO Irrigation and drainage paper* No 56. Rome, Italy.

5- Ansari, M.A., Egdernezhad, A. and Ebrahimipak, N.A., 2019. Simulating of potato (Solanum tuberosum L.) yield under different irrigation conditions using AquaCrop and Cropsyst models. *Journal of Crop Ecophysiology*, 13 (50), pp. 287-304. doi: 10.30495/jcep.2019.666253.

6- 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*, pp. 31-37. doi: 10.1016/j.gfs.2017.01.008.

7- Bartels, D. and Sunkar, R., 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(1), pp. 23-58. doi: 10.1080/07352680590910410.

8- Deblonde, P.M.K. and Ledent, J.F., 2001. Effects of moderate drought conditions on green leaf number, stem height, leaf length and tuber yield of potato cultivars. *European Journal of Agronomy*, 14(1), pp. 31-41. doi: 10.1016/S1161-0301(00)00081-2.

9- Doorenbos, J. and Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. In *FAO Irrigation and Drainage*, paper No 33. Rome, Italy.

10- Ebrahimipak, N., Eigdernezhad, A., Tafteh, A. and Ahmadee, M., 2019. Evaluation of AquaCrop, WOFOST, and CropSyst to simulate rapeseed yield. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(3), pp. 715-726. dor: 20.1001.1.20087942.1398.13.3.14.4.

11- Elzner, P., Juzl, M.A. and Kasal, P., 2018. Effect of different drip irrigation regimes on tuber and starch yield of potatoes. *Plant Soil Environment*, 64 (11) pp. 546- 550. doi: 10.17221/400/2018-PSE.

12- FAO. 2020. World Crop Production Statistics. http//faostat.fao.org.

13- Forbes, G.A., Charkowski, A., Andrade-Piedra, J., Parker, M.L. and Schulte-Geldermann, E., 2020. Potato seed systems. In *The potato crop: Its agricultural, nutritional and social contribution to humankind* (pp. 431-447). Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-28683-5_12.

14- Gervais, T., Greelman, A., Li, X.Q., Bizimungu, B., De Koeyer, D. and Dahal, K., 2021. Potato response to drought stress: physiological and growth basis. *Crop and Product Physiology*, 12, pp. 698060. doi: 10.3389/fpls.2021.698060.

15- Gregory, P.J. and Simmonds, L.P., 1992. Water relations and growth of potatoes. In *The potato crop: The Scientific Basis for Improvement* (214-246). Dordrecht: Springer Netherlands. 17.

16- Hamzehpour, G., Tobeh, A., Hassanpanah, D. and Farzaneh, S., 2023. Investigating the performance and some biochemical characteristics of promising potato genotypes under water-limited conditions in Ardabil. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33(3), pp. 323-341. doi: 10.22034/saps.2022.52705.2901.

17- Janghorban, K, Olfati, J., Khaledian, M., Hassanabadi, H. and Hamidoughli, Y., 2025.Estimation of reference evapotranspiration in greenhouses using statistical and mathematical methods. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 19(2), pp. 203-215.

18- Karam, F., Amacha, N., Fahed, S., Asmar, T.E. and Dominguez, A., 2014. Response of potato to full and deficit irrigation under semiarid climate: Agronomic and economic implications. *Agricultural Water Management*, 142, pp. 144-151. doi: 10.1016/j.agwat.2014.05.007

19- Kassu, T., Tilahun, H., Yared, D. and Watanabe, H., 2017. Effect of irrigation regimes on yield and water use efficiencies of potato. *International Journal Plant Production*, 11(3), pp. 389- 405. doi: 10.22069/ijpp.2017.3547.

20- Khaledian, M.R., Mailhol, J.C., Ruelle, P., Mubarak, I. and Maraux, F., 2011. Nitrogen balance and irrigation water productivity for corn, sorghum and durum wheat under direct seeding into mulch when compared with conventional tillage in the southeastern France. *Irrigation Science*, 29(5), pp. 413-422. doi: 10.1007/s00271-010-0250-4.

21- Koech, O.K., Kinuthia, R.N., Karuku, G.N., Mureithi, S.M. and Wanjogu, R., 2015. Water use efficiency of six rangeland grasses under varied soil moisture content levels in the arid Tana River County, Kenya. *African Journal Environmental Science and Technology*, 9 (7), pp. 632-640. doi: 10.5897/AJEST2015.1917.

22- Li, X., Ramírez, D.A., Qin, J., Dormatey, R., Bi, Z., Sun, C., Wang, H. and Bai, J., 2019. Water restriction scenarios and their effects on traits in potato with different degrees of drought tolerance. *Scientia Horticulturae*, 256, pp. 108525. doi: 10.1016/j.scienta.2019.05.052.

23- Mirhosseyni, A., Hassanpour Asil, M., Olfati, J.A. and Farhangi, M.B., 2024. Genotypic variation in nitrogen use efficiency trait in 35 cucumber inbred lines. *Acta Physiologiae Plantarum*, 46(10), pp. 1-12. doi: 10.1007/s11738-023-03642-4.

24- Mittler, R., 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*, 11(1), pp. 15-19. doi: 10.1016/j.tplants.2005.11.002.

25- Mohammadpour, M., Olfati, J., Khaledian, M. and Rabiei, B., 2025. Economic productivity of irrigation water of different genotypes of greenhouse cucumber in deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 18(6), pp. 865-877.

26- Najafi, S., Khaledian, M.R. and Rezaei, M., 2021. Evaluation of water productivity with three rice genotypes under different irrigation regimes and nitrogen fertilizer treatments in Rasht, northern Iran. *Irrigation and Drainage*, 70(4), pp. 679-689. doi: 10.1002/ird.2582.

27- Neumann, P.M., 2008. Coping mechanisms for crop plants in drought-prone environments. *Annals of Botany*, 101(7), pp. 901-907. doi: 10.1093/aob/mcn018.

28- Neysi, H., Egdernezhad, A. and Sepehri Sadegiyan, S. 2025. Determining the best volume of potato irrigation water in the tape drip irrigation system using WOFOST model. *Water and Soil Management and Modeling*, 5(2), pp. 1-15. doi: 10.22098/mmws.2024.14880.1446.

29- Nouri, A., Nezami, A., Kafi, M. and Hassanpanah, D., 2016. Growth and yield response of potato genotypes to deficit irrigation. *International Journal of Plant Production*, 10(2), pp. 139- 158. doi: 10.22069/ijpp.2016.2785.

30- O'Connell, E., 2017. Towards adaptation of water resource systems to climatic and socio-economic change. *Water Resources Management*, *31*, pp. 2965-2984. doi: 10.1007/s11269-017-1734-2.

31- Onder, D., Onder, S., Emin Caliskan, M. and Caliskan, S., 2015. Influence of different irrigation methods and irrigation levels on water use efficiency, yield, and yield attributes of sweet potatoes. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(10), pp. 3397- 3403.

32- Omidi, A.H., Khaledian, M., Hassanpour Asil, M. and Olfati, J., 2018. Measurement of water requirement and crop coefficient of lily (*Lilium* sp) under greenhouse conditions in Rasht city. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 11(6), pp. 1111-1120.

33- Paredes, P., D'Agostino, D., Assif, M., Todorovic, M. and Pereira, L.S., 2018. Assessing potato transpiration, yield and water productivity under various water regimes and planting dates using the FAO dual Kc approach. *Agricultural Water Management*, 195, pp. 11-24. doi: 10.1016/j.agwat.2017.09.011.

34- Placide, R., Shimelis, H., Laing, M. and Daphrose, G., 2016. Greenhouse and in vitro screening of sweet potato genotypes for drought tolerance. *Research on Crops*, 17(3), 568-578. doi: 10.5958/2348-7542.2016.00095.4.

35- Romero, A.P., Alarcon, A., Valbuena, R.I. and Galeano, C.H., 2017. Physiological assessment of water stress in potato using spectral information. *Frontiers in Plant Science*, 8, pp. 1608. doi: 10.3389/fpls.2017.01608.

36- Samaee, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mousapour, A. and Zand, E., 2017. The study of potato genotypes (*Solanum tubersum* L.) tolerance to water deficit stress. *Journal of Agricultural Science*, 47(4), pp. 527-540. doi: 10.22059/ijfcs.2017.128238.653902.

37- Shafaroodi, A., Sharifi, M., Gholipouri, A., Salahi, B. and Aalizadeh, M., 2020. Effect of deficit irrigation conditions on potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in Ardabil Climate. *Journal of Crop Ecophysiology*, 15(57), pp. 131-152. doi: 10.30495/jcep.2021.681010.

38- Shi, Sh., Fan, M., Iwama, K., Li, F., Zhang, Z. and Jia, L., 2015. Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long-term water deficiency. *International Journal of Plant Production*, 9, pp. 305-320. doi: 10.22069/ijpp.2015.2050.

39- Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., 2007. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), pp. 221-227. doi: 10.1093/jxb/erl164.

40- Silva, E.F., Jadoski, S.O. and Martinkoski, L., 2019. Water depletion depth for irrigation of potato cultivar Agata. *Engenharia Agricola Jaboticabal*, 39(4), pp. 434-443. doi: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n4p434-443/2019.

41- Vos, J. and Groenwold, J., 1986. Root growth of potato crops on a marine-clay soil. *Plant and Soil*, *94*, pp. 17-33.

42- Wang, J., Zhang, L., Cao, Y., Qi, C., Li, S., Liu, L., Wang, G., Mao, A., Ren, S. and Guo, Y.D., 2018. CsATAF1 positively regulates drought stress tolerance by an ABA-dependent pathway and by promoting ROS scavenging in cucumber. *Plant and Cell Physiology*, 59(5), pp. 930-945. doi: 10.1093/pcp/pcy030.

43- Weisz, R., Kaminski, J. and Smilowitz, Z., 1994. Water deficit effects on potato leaf growth and transpiration: utilizing fraction extractable soil water for comparison with other crops. *American Potato Journal*, 71, pp. 829-840. doi: 10.1007/BF02849378.

44- Zin El- Abedin, T.K., Matar, M.A., Al-Ghobari, H.M. and Alazba, A.A., 2019. Water-saving irrigation strategies in potato fields: Effects on physiological characteristics and water use in arid region. *Journal Agronomy*, 9(172), pp. 2-16. doi: 10.3390/agronomy9040172

EXTENDED ABSTRACT

Water Productivity of Different Potato Mini-Tuber Genotypes under Irrigation Management Based on Water Requirement Compared to Conventional Irrigation in the Greenhouse

K. Janghorban, J. Olfati, M.R. Khaledian*, H. Hassanabadi, Y. Hamidoghli

1- Ph.D. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan; P.O.BOX 41635-3756, Rasht, Iran.
2- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan.
3- Associate Professor, Department of Water Eng., 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.(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.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received:
Revised:
Accepted:
Available online:

Keywords:
Drip irrigation, yield, water requirement.

TO CITE THIS ARTICLE:

Janghorban, K., Olfati, J., Khaledian, M.R., Hassanabadi, H., Hamidoghli, Y. (2026). 'Water Productivity of Different Potato Mini-Tuber Genotypes under Irrigation Management Based on Water Requirement Compared to Conventional Irrigation in the Greenhouse'….

Abstract

Identifying genotypes tolerant to deficit irrigation and introducing them to farmers and researchers is a suitable solution for increasing irrigation water productivity. The aim of the present study was to evaluate 19 potato genotypes at two irrigation levels based on calculated water requirement and conventional greenhouse irrigation in 2021 and to introduce superior genotypes based on performance traits, irrigation water productivity, and economic irrigation water productivity. This study was conducted in split plots and in a completely randomized basic design including two irrigation levels, 19 genotypes, and three replications. The results showed that the effect of irrigation, genotype, and their interaction on the number of commercial tubers per plant, weight of a single tuber, weight of all tubers per plant, irrigation water productivity, and economic irrigation water productivity were significant ($p<0.01$). The indices of number of commercial tubers per plant and economic irrigation water productivity were considered to determine suitable and unsuitable genotypes. The genotypes AD15, AD2, and AD50 with 16-22 minitubers per plant and economic irrigation water productivity of 95-130 million rials per cubic meter of irrigation water were the best choice. The genotypes AD40, AD35, and Desire with 3-8 minitubers per plant and economic irrigation water productivity of 19-48 million rials per cubic meter of irrigation water were inappropriate choices considering the conditions in the study. Using the introduced genotypes and applying irrigation based on water needs will improve yield, save water consumption, and improve water productivity and income of the greenhouse owner.

Introduction

Potato is one of the country's strategic crops that is highly sensitive to irrigation management (Neysi et al., 2025; Shafaroodi et al., 2020). Iran is located in an arid region that is facing the challenge of accessing water resources due to the intensification of the negative effects of climate change. Therefore, determining the appropriate and optimal amount of irrigation water that saves water consumption while maintaining the desired level of yield is essential. Greenhouse crops rely on groundwater resources to provide the required water, and unfortunately, many greenhouses are located in forbidden plains and strict considerations must be observed in harvesting groundwater resources. Therefore, determining the water requirement of greenhouse crops and systematic and scientific irrigation management are mandatory. However, currently, in many greenhouses,

irrigation is not carried out systematically and a correct basis for irrigation is not considered. The aim of the present study is to compare irrigation based on calculating water requirements with conventional irrigation in a greenhouse. In addition, the effect of differences between different genotypes of a plant in irrigation management has also been considered. Identifying genotypes tolerant to irrigation deficiency and introducing them to farmers and researchers is a suitable solution for increasing irrigation water productivity.

Materials and Methods

This study was conducted in split plots and in a completely randomized basic design including two irrigation levels, 19 genotypes and three replications. These genotypes were selected with the aim of producing mini-tuber and using them in breeding programs. A drip irrigation system was used for irrigation and irrigation management was carried out based on the water requirement of potato mini-tuber inside the greenhouse. The product was harvested at the commercial maturity Stage as mini-tuber and the yield, some yield traits, and irrigation water productivity were determined.

Results and Discussion

The results showed that the effect of irrigation, genotype, and the interaction effect of irrigation and genotype on the number of tubers per plant, single tuber weight, total tuber weight of a plant, irrigation water productivity, and economic productivity of irrigation water were significant ($p<0.01$). The indices of the number of mini-tubers per plant and economic productivity of irrigation water were considered to determine suitable and unsuitable genotypes. The genotypes AD15, AD2, and AD50 with 16-22 mini-tubers per plant and economic productivity of irrigation water of 95-130 million rials per cubic meter of irrigation water were the best choices. The genotypes AD40, AD35, and Desire with 3-8 mini-tubers per plant and economic productivity of irrigation water of 19-48 million rials per cubic meter of irrigation water were unsuitable choices according to the conditions in the study. Using the introduced genotypes and applying irrigation based on water requirement will improve yield, save water consumption, and improve water productivity and greenhouse income.

Conclusion

The aim of the present study was to compare two irrigation managements including: conventional irrigation in a commercial greenhouse and irrigation based on the calculation of irrigation requirements for 19 different potato genotypes for mini-tuber production in the greenhouse. Considering the indicators of the number of mini-tubers per plant and the economic efficiency of irrigation water for selecting suitable and unsuitable genotypes, the genotypes AD15, AD2 and AD50 with 16-22 mini-tubers per plant and the economic efficiency of irrigation water of 130-95 million rials/m^3 of irrigation water were given priority for selection. In addition, the genotypes AD40, AD35 and Desire with 3-8 mini-tubers per plant and the economic efficiency of irrigation water of 19-48 million rials/m^3 of irrigation water were unsuitable choices according to the conditions of the present study. The response of different potato genotypes to irrigation management was significantly effective on yield traits, irrigation water efficiency and economic efficiency of irrigation water. Therefore, it can be said that different genotypes of a plant have different responses to irrigation management.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' contribution

First Author: Kobra Janghorban**,** Data acquisition
Second Author: Jamalali Olfati**,** Results evaluation
Third Author: Mohammad Reza, Khaledian**:** Paper writing
Fourth Author: Hassan Hassanabadi, Results evaluation
Fifth Author: Youssef Hamidoghli, Results evaluation

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the University of Guilan for the financial and logistical supports who significantly contributed during the research project.

References

1- Neysi, H., Egdernezhad, A. and Sepehri Sadegiyan, S. 2025. Determining the best volume of potato irrigation water in the tape drip irrigation system using WOFOST model. *Water and Soil Management and Modeling,* 5(2), pp. 1-15. doi: 10.22098/mmws.2024.14880.1446.

2- Shafaroodi, A., Sharifi, M., Gholipouri, A., Salahi, B. and Aalizadeh, M., 2020. Effect of deficit irrigation conditions on potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in Ardabil Climate. *Journal of Crop Ecophysiology,* 14(3), pp. 131-152. doi: 10.30495/jcep.2021.681010.