Irrigation and Drainage Structures Engineering Research
Vol.26, No.101, Winter, 2025, P. 65-82

Research Article

Water productivity and of water deficit tolerance evaluation in high-yielding potato cultivars and genotypes in Ardabil region

Keramat Akhavan Gigloo[1], Davoud Hassanpanah[2]✉, Ahmad Mousavipoor Gorji[3], Yuosef Jahani Jelodar[4]

[1]Engineering Technical Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran
[2]Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran
[3]Vegetable Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, AREEO, Ardabil, Iran
[4]Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran
(✉ **Corresponding Author**: D.Hassanpanah@areeo.ac.ir **)**

A R T I C L E. I N F O
Received: 4 February 2026
Revised: 31 May 2026
Accepted: 3 June 2026
Available Online:20 June 2026

HOW TO CITE THIS ARTICLE
Akhavan Gigloo, K., Hassanpanah, D., Mousavipoor Gorji, A., Jahani Jelodar, Y., (2026). Water productivity and of water deficit tolerance evaluation in high-yielding potato cultivars and genotypes in Ardabil region. V.26, No.101, P: 65-82
https://doi.org/ 10.22092/idser.2026.372199.1642

Extended Abstract

Introduction

Water deficit is a common stress in potato production that leads to a decrease in tuber quality and yield. Potato plants are sensitive to water deficit stress, and sufficient water availability is essential to increase the quality and quantity of potato tubers, so the aim of this study was to achieve superior cultivars in terms of agronomic traits, marketability, adaptation to regional climatic conditions, and water deficit stress tolerance, and to determine water use efficiency in potato cultivars under low irrigation conditions in Ardabil region.

Methodology

In order to evaluate a number of superior potato cultivars, an experiment was conducted in 2024 and 2025 at the National Potato Research Station farm located in Ardabil. A total of 16 high-yielding genotypes and cultivars with different uses (Chips, French fries, Starch and Fresh consumption) were investigated in this experiment. The experiment was split-block based on a randomized complete block design with three replications. The horizontal plot included three irrigation levels (100, 80, and 60 percent of crop water requirement) and the vertical plot included 16 potato genotypes and cultivars. The tubers were planted in rows with 75 cm spacing and 25 cm plant spacing, and a planting depth of 10 cm. The irrigation method was drip (tape) and according to the schedule based on the desired treatments. The amount of water entering each experimental plot was measured with a water meter. The water deficit stress tolerance index (STi) was calculated in potato cultivars .

Results

The results of the analysis of variance of the studied traits showed that there were significant differences between the levels of water deficit stress, genotypes, the interaction of genotypes and year. Also, the interaction of water deficit stress and genotypes, and the three-way interaction of water deficit stress, genotypes and year in terms of the traits of tuber yield, tuber weight per plant, and water use

efficiency, and between the levels of water deficit stress, genotypes were significant. The highest tuber yield, tuber weight per plant, and water use efficiency under normal, mild stress, and severe stress conditions were found in genotypes 1043, Eurostarch, and Javid. The decrease in tuber yield under mild stress conditions was 12 percent and 28 percent under severe stress conditions.

Conclusion

Water deficit stress tolerant cultivars had fewer tubers but larger tuber sizes. Tuber dry matter percentage and water use efficiency increased in water deficit tolerant cultivars under mild and severe stress conditions. Based on the stress tolerance index (STi), G1043 genotype, Eurostar, and Javid cultivars were selected as tolerant genotypes to mild and severe stress .

Keywords: Potato, Water use efficiency, Water deficit, Quality traits

Conflict of Interest

The financial support of this research has been provided from the research credit of the Ardabil Agriculture Jihad Organization and we hereby thank the management of the Ardabil Agricultural Jihad Organization for their support.

Funding

The financial support of this research has been provided from the research credit of the Ardabil Agriculture Jihad Organization and we hereby thank the management of the Ardabil Agricultural Jihad Organization for their support.

Data Availability Statements

All information and results are presented in the text of the article. The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Author contribution

All authors contributed to the study conception and design. Material preparation and data collection and by all authors (K.A.G.; D.H.; A.M.G.; Y.J.J.) and analysis were performed by D.H. The first draft of the manuscript was written by D.H. and all authors (K.A.G.; D.H.; A.M.G.; Y.J.J.) commented on previous versions of the manuscript. The final revisions have been applied by D.H. and Moreover, all authors have read and approved the final manuscript.

Acknowledgement

The authors are thankful to the management of Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Ardabil Agricultural Jihad Organization and Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. This research has been provided with the financial support the Ardabil Agriculture Jihad Organization.

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۶/شماره ۱۰۱/ زمستان ۱۴۰۵/صفحه ۸۲-۶۵

نوع مقاله: پژوهشی

بهره‌وری آب و ارزیابی تحمل به کم‌آبی در ارقام و ژنوتیپ‌های پرمحصول سیب‌زمینی در منطقهٔ اردبیل

کرامت اخوان گیگلو[۱]، داود حسن‌پناه[۲]✉، احمد موسی‌پور گرجی[۳]، یوسف جهانی جلودار[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۵ | تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۰ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۳ | تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۳۰

چکیدهٔ

گیاه سیب‌زمینی حساس به تنش کم‌آبی است و در دسترس بودن آب کافی برای افزایش کیفیت و کمیت غدهٔ سیب‌زمینی ضروری خواهد بود. هدف از این تحقیق دستیابی به ارقام برتر از نظر صفات زراعی، بازارپسندی، سازگاری با شرایط اقلیمی منطقهٔ اردبیل و متحمل‌بودن به تنش کم‌آبی و تعیین کارآیی مصرف آب در ارقام سیب‌زمینی در شرایط کم‌آبیاری در منطقه اردبیل است. به‌منظور ارزیابی تعدادی از ارقام برتر سیب‌زمینی، در سال ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ پژوهشی در مزرعه ایستگاه تحقیقات سیب‌زمینی کشور مستقر در شهرستان اردبیل به‌اجرا در آمد. شانزده ژنوتیپ و رقم پرمحصول و با مصارف مختلف (چیپس، خلال، نشاسته، سرخ کردن و تازه‌خوری) در این آزمایش بررسی شدند. آزمایش به‌صورت اسپلیت بلوک بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. کرت افقی شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد آب قابل استفاده) و کرت عمودی شامل ۱۶ ژنوتیپ و رقم سیب‌زمینی بودند. روش آبیاری به‌صورت قطره‌ای (تیپ) و طبق برنامه براساس تیمارهای مورد نظر انتخاب شد. مقدار آب ورودی به هر کرت آزمایشی با کنتور آب اندازه‌گیری گردید. شاخص تحمل به تنش کم‌آبی (STi) در ارقام سیب زمینی محاسبه شد. نتایج تجزیهٔ واریانس صفات مورد مطالعه نشان داد بین سطوح تنش کم‌آبی، ژنوتیپ‌ها، اثرمتقابل ژنوتیپ‌ها و سال، اثرمتقابل تنش کم‌آبی و ژنوتیپ‌ها و اثرمتقابل سه جانبه تنش کم‌آبی، ژنوتیپ‌ها و سال از لحاظ صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته و کارایی مصرف آب و بین سطوح تنش کم‌آبی، ژنوتیپ‌ها و اثرمتقابل تنش کم‌آبی و ژنوتیپ‌ها از لحاظ صفات تعداد غده در بوته، ارتفاع بوته، تعداد ساقهٔ اصلی در بوته، درصد مادهٔ خشک غده و شاخص سطح برگ اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. بیشترین عملکرد غده، وزن غده در بوته و کارایی مصرف آب در شرایط نرمال، تنش ملایم و تنش شدید مربوط به ژنوتیپ۱۰۴۳ و ارقام یورواستارچ و جاوید بودند. میزان کاهش عملکرد غده در شرایط تنش ملایم ۱۵ درصد و در شرایط تنش شدید ۳۲ درصد مشاهده شد. ارقام متحمل به تنش کم‌آبی تعداد غده کمتر داشتند اما اندازهٔ غدهٔ آنها بیشتر بود. درصد ماده خشک غده و کارایی مصرف آب در ارقام متحمل به کم‌آبی در شرایط تنش ملایم و شدید افزایش نشان داد. در زمینهٔ تحمل به تنش (STi)، ژنوتیپ ۱۰۴۳ و ارقام یورواستارچ و جاوید به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش ملایم و شدید انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، کارایی مصرف آب، کمبود آب، صفات کیفی

[۱] استادیار بخش تحقیقات فنی مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.

[۲] استاد بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران. (✉**نویسنده مسئول:** **Email**: D.Hassanpanah@areeo.ac.ir)

[۳] دانشیار بخش تحقیقات سبزی، صیفی و حبوبات آبی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

[۴] محقق بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.

مقدمه

تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کنندهٔ رشد و عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا و ایران است. پاسخ گیاهان به تنش کم‌آبی بستگی به نوع، شدت و مدت تنش و نیز گونهٔ گیاهی و مرحلهٔ وقوع تنش دارد (Farooq *et al*., 2009). بسیاری از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در سیب‌زمینی تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند و می‌توانند به‌عنوان شاخصی برای اثر کم‌آبی استفاده شوند. در استان اردبیل، مقدار آب کاربردی زراعت سیب‌زمینی به شیوه آبیاری سطحی و در دوره رشد و نمو براساس عواملی مانند شرایط آب و هوایی منطقه، فصل کاشت و نوع خاک متغیر است و به‌طور متوسط ۱۲ هزار مترمکعب در هکتار برآورد شده است (Hassanpanah *et al*., 2008). کمبود و کاهش تدریجی منابع آب، از مهم‌ترین عوامل محدود کنندهٔ تولیدات کشاورزی در منطقهٔ اردبیل به‌ویژه زراعت سیب‌زمینی با سطحی حدود ۲۰ هزار هکتار به شمار می‌رود. یکی از راه-کارهای مهم به‌منظور پیشگیری از مشکلات گفته‌شده معرفی ارقام سیب‌زمینی با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به تنش کم‌آبی است.

براساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیرکشت سیب‌زمینی کشور در سال ۱۴۰۳، حدود ۱۴۲هزار هکتار با تولید حدود ۵/۲ میلیون تن و میانگین تولید حدود ۳۷ تن در هکتار است (Anonymous, 2025). در حال حاضر، سرانهٔ مصرف سیب‌زمینی برای هر نفر ۵۶ کیلوگرم است که برنامه‌ریزی شده است که تا سال ۱۴۰۶ به ۶۳ کیلوگرم برسد (Kazemi *et al*., 2016).

سیب‌زمینی معمولاً گیاهی حساس به کم‌آبی شناخته می‌شود و به همین دلیل پژوهش‌های مختلف با استفاده از شاخص‌هایی مانند عملکرد غده، عملکرد بیولوژیکی و شاخص‌های فیزیولوژیکی تحمل ارقام مختلف سیب‌زمینی را از این نظر بررسی می‌کنند (Mohammadkhani and Sharifi, 2016).

احمدی و همکاران (Ahmadi *et al*., 2014) در تحقیقی با عنوان کم‌آبیاری تنظیم شده و خشکی موضعی ریشه بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در دو رقم سیب‌زمینی نشان دادند که بین عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در رژیم‌های آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود دارد و با اعمال کم‌آبیاری بهره‌وری مصرف آب افزایش پیدا می‌کند. در بررسی تأثیر تحمل خشکی بر چهار رقم سیب‌زمینی گزارش شد کشت رقم‌هایی با دورهٔ رشد طولانی نه تنها عملکرد را در شرایط خشکی افزایش نمی‌دهد، بلکه برتری بر رقم‌های زودرس ندارد (Baciu, 2013). در آزمایشی دیگر، کاهش عملکرد غدهٔ قابل فروش تحت شرایط تنش کم‌آبی تأیید شده است. افزایش طول دورهٔ تنش آبی، تشکیل غده روی استولون را کاهش و ادامهٔ کمبود آب در زمان پر شدن غده، اندازه و عملکرد قابل فروش را نیز کاهش می‌دهد. (استولون ساقه‌ای است که به طور افقی در زیرزمین رشد می‌کند و در انتهای آن غده تشکیل می‌شود) (Anithakumari, 2011). نتیجهٔ آزمایشی دیگری نشان داد عملکرد غدهٔ قابل فروش ارقام سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری نسبت به آب قابل دسترس اختلاف دارد و بالاترین عملکرد سیب‌زمینی در رقم اسپونتا در زمان تأمین آب آبیاری کامل (۴۰/۹ تن در هکتار) به‌دست آمد. این رقم با عملکرد قابل فروش در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی (۳۰/۳ تن در هکتار) اختلاف معنی‌داری نشان داد، کمترین مقدار این صفت را در تیمار بدون آبیاری (۱۴/۹ تن در هکتار) نشان داد (Cantore *et al*., 2014). سمائی و همکاران (Samaee *et al*., 2017) طی دو سال تحقیق روی ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی گزارش کردند عملکرد بیولوژیکی، وزن تر غدهٔ قابل فروش، تبخیر و تعرق و مصرف آب در ژنوتیپ‌های تحت شرایط تنش نسبت به شاهد کاهش نشان

داده‌اند. شاخص سطح بهره‌وری آب بر مبنای عملکرد غده در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) به‌ازای مقدار آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) در اکثر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش کم‌آبی کمتر بوده است. بالاترین سطح بهره‌وری آب در شرایط تنش در ژنوتیپ ۲-۳۹۷۰۶۹ مشاهده شد. این محققان گزارش کردند بین ژنوتیپ‌ها و سطوح آبیاری از لحاظ صفت تعداد غده‌های با قطر کوچک‌تر از ۳۵ میلی‌متر (غدهٔ غیرقابل فروش)، بین ۵۵ تا ۳۵ میلی‌متر (غدهٔ بذری) و بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر مانی و حناچی (Mani and Hannachi, 2015) اعلام کردند خشکی باعث کاهش رشد گیاه، دورهٔ رشد و اندازهٔ غده‌ها می‌شود. در آزمایشی گزارش شده است که مقدار مادهٔ خشک غده سیب‌زمینی با افزایش تنش رطوبتی افزایش می‌یابد (Vasiter, 2014).

هدف از این تحقیق انتخاب ارقام پرمحصول و برتر از نظر صفات زراعی، کیفیت، بازارپسندی و متحمل به تنش کم‌آبی و تعیین کارآیی مصرف آب در ارقام سیب‌زمینی در شرایط کم‌آبیاری در منطقهٔ اردبیل است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور ارزیابی تعدادی از ارقام برتر سیب‌زمینی در سال ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ در مزرعه ایستگاه تحقیقات سیب‌زمینی کشور مستقر در شهرستان اردبیل اجرا شد. تاریخ کشت آزمایش، اوایل اردیبهشت و زمان برداشت اواخر مرداد تا اوایل شهریور بود. شانزده ژنوتیپ پرمحصول (شامل ارقام ملی و بین‌المللی تجاری) و با مصارف مختلف (چیپس، خلال، نشاسته، سرخ کردن، تازه‌خوری و چندمنظوره) در این آزمایش بررسی شدند (جدول ۱). آزمایش به‌صورت اسپلیت بلوک بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. کرت افقی شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰،۸۰، و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کرت عمودی شامل ۱۶ ژنوتیپ سیب‌زمینی به شرح جدول ۱ بودند.

محل اجرای آزمایش (ایستگاه تحقیقات ملی سیب‌زمینی اردبیل) اقلیم معتدل و نیمه‌سردسیر دارد و آب و هوای آن تا حد کمی مرطوب است. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۱۳۹۲ متر و طول و عرض جغرافیایی آن به ترتیب ′۴۸ ۲۰° و ′۱۵ ۳۸° است. متوسط حداکثر و حداقل دمای سالانه و حداکثر دمای مطلق به ترتیب ۱/۹۸، ۱۵/۱۸ و ۲۱/۵۸ درجه سانتی‌گراد است. این منطقه دارای زمستان‌های بسیار سرد و تابستان‌های معتدل است. میزان بارندگی در سال ۱۴۰۲ به مقدار ۳۸۶/۴ میلی‌متر (نسبت به میانگین بلندمدت، ۷/۳ درصد بیشتر) و در سال ۱۴۰۳، به مقدار ۲۲۶/۵ میلی‌متر (نسبت به میانگین بلندمدت در این بازه زمانی، ۱۸ درصد کمتر) بوده است (Anonymous, 2024). میزان بارندگی در دورهٔ رشد سیب‌زمینی در سال ۱۴۰۴ در جدول ۴ ارائه شده است.

غده‌ها روی ردیف‌هایی به فواصل ۷۵ سانتی‌متر، فاصله بوته‌های ۲۵ سانتی‌متر و به عمق ۱۰ سانتی‌متر کشت شدند. برای نمونه‌برداری و ثبت صفات ردیف وسط استفاده شد. کلیه عملیات داشت شامل وجین علف‌های هرز، خاک‌دهی پای بوته و سمپاشی علیه آفت سوسک کلرادو و بیماری‌های مهم سیب‌زمینی به‌طور یکنواخت در کلیه کرت‌ها اعمال شد.

روش آبیاری به‌صورت قطره‌ای (تیپ) و طبق برنامه براساس تیمارهای موردنظر بوده است. مقدار آب ورودی به هر کرت آزمایشی با کنتور آب اندازه‌گیری شد (شکل۱). برای مبارزه با علف‌های هرز بعد از کاشت و پیش از سبز شدن بوته‌های سیب‌زمینی از سم سنکور به مقدار ۷۵۰ گرم در هکتار و برای مبارزه با آفت سوسک کلرادو از سم کنفیدور به مقدار ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار در یک نوبت استفاده شد.

خاک‌دهی پای بوته در دو مرحله اجرا شد، یکی بین ۱۵ تا ۲۰ روز بعد از سبز شدن بوته‌ها (وقتی ارتفاع بوته‌ها حدود ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر است) و دیگری حدود ۲۵ تا ۳۰

روز بعد از سبز شدن (زمانی که بوته‌ها به ارتفاع ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر برسند و غده‌ها در حال شروع تشکیل هستند). کود اوره در سه مرحله (یک سوم در زمان کاشت، یک سوم در زمان وجین علف‌های هرز و یک سوم در زمان خاک‌دهی پای بوته)، کود فسفات آمونیوم در دو مرحله (۵۰ درصد در زمان کاشت و ۵۰ درصد در مرحله غده‌دهی) و کود سولفات پتاسیم در زمان کاشت براساس آزمایش خاک (جدول ۲) مصرف گردید.

شکل ۱- مزرعه آزمایش سیب‌زمینی با آبیاری قطره‌ای (تیپ)

Figure 1- Potato experimental farm with drip irrigation (tape)

برای تعیین حجم آب مصرفی در هر آبیاری، پیش از آبیاری از خاک کرت مورد نظر تا عمق توسعه ریشه نمونه‌برداری شد و درصد رطوبت خاک محل آزمایش در دورهٔ رشد سیب زمینی با استفاده از دستگاه رطوبت سنج پرتابل PMS-714 اندازه گیری شد. حجم آب آبیاری با استفاده از معادله‌های (۱) و (۲) محاسبه و تیمارها بر اساس آن اعمال گردید.

$$H= \rho b\ (\theta FC-\theta m\ )D \quad (۱)$$

$$V=H\times A \quad (۲)$$

H: ارتفاع آب داخل کرت، ρb: جرم مخصوص ظاهری خاک، θFC: رطوبت در حد ظرفیت مزرعه، θm: رطوبت جرمی کرت مورد نظر در زمان آبیاری، D: عمق توسعهٔ ریشه، V: حجم آب آبیاری در کرت و A: مساحت کرت.

برای محاسبهٔ بارش موثر و شاخص بهره‌وری آب، از معادله (۳) و معادله (۴) استفاده شد:

محاسبه بارش موثر (Pe) (Allen *et al.*, 1998):

$$Pe = P \times \alpha \quad (۳)$$

P: مجموع بارش‌های دوره (مترمکعب).

α: ضریب بهره‌وری بارش (برای خاک لومی رسی α = ۰/۷۵).

شاخص بهره‌وری آب (WP):

$$WP = Y / (Wirr + Pe) \quad (۴)$$

Y: عملکرد سیب‌زمینی (کیلوگرم در هکتار) ؛ Wirr: مقدار کل آب آبیاری اعمال شده (مترمکعب در هکتار) و Pe: مجموع بارش‌های موثر در طول دوره رشد (مترمکعب در هکتار)

در دورهٔ رشد و پس از برداشت صفات عملکرد غده، ارتفاع بوته، تعداد ساقهٔ اصلی در بوته، تعداد و وزن غده در بوته و متوسط وزن غده، درصد مادهٔ خشک غده، مقدار آب مصرفی و کارایی مصرف آب اندازه‌گیری شد.

تجزیهٔ واریانس با نرم‌افزار آماری SAS 9.1 صورت گرفت. میانگین صفات با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد. سرانجام ارقام پرمحصول و متحمل به تنش کم‌آبی و مناسب برای مصارف مختلف برای منطقهٔ اردبیل معرفی شدند.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مورد بررسی و ویژگی‌های مهم آنها

Table 1- Studied potato genotypes and their important characteristics

ژنوتیپ (Genotypes)	شکل غده (Tuber Shape)	دوره خواب[۳] (Dormancy)	زمان رسیدگی[۲] (Maturity)	رنگ گوشت (Flesh Color)	رنگ پوست (Skin color)	عملکرد غده قابل فروش[۱] (Marketable Tuber Yield)	انبارداری (Storage)	کیفیت فرآوری (Processing quality)	مناسب برای (Suitable for)
لاریسا (Larissa)	بیضی Oval	خوب Good	متوسط زودرس Medium Early	زرد Yellow	زرد Yellow	بالا High	خوب Good	متوسط Medium	چیپس Chips
آگریا (Agria)	بیضی کشیده Elongated Oval	بالا High	متوسط دیررس Medium Late	زرد Yellow	زرد Yellow	بالا High	خوب Good	خوب Good	خلال Sliced
جلی (Jelly)	بیضی Oval	خوب Good	متوسط دیررس Medium Late	زرد Yellow	زرد Yellow	بالا High	خوب Good	خوب Good	خلال Sliced
ساوالان (Savalan)	گرد بیضی Round Oval	متوسط Medium	متوسط دیررس Medium Late	زرد Yellow	زرد Yellow	بالا High	متوسط Medium	عالی Excellent	چیپس Chips
آتوسا (Atosa)	بیضی Oval	خوب Good	متوسط دیررس Medium Late	زرد روشن Light Yellow	زرد Yellow	بالا High	خوب Good	خوب Good	سرخ کردن Frying
رزا (Roza)	بیضی Oval	خوب Good	متوسط دیررس Medium Late	زرد Yellow	قرمز Red	بالا High	خوب Good	متوسط Medium	خلال Sliced
ریلانا (Rilana)	بیضی Oval	خوب Good	متوسط زودرس Medium Early	زرد Yellow	زرد Yellow	خیلی بالا	خوب Good	خوب Good	تازه خوری Fresh food
بابیلون (Babylon)	بیضی کشیده Elongated Oval	خوب Good	متوسط زودرس Medium Early	زرد Yellow	زرد Yellow	بالا High	طولانی Long	عالی Excellent	خلال Sliced
آرسنال (Arsenal)	گرد بیضی Round Oval	خوب Good	متوسط زودرس Medium Early	زرد روشن Light Yellow	زرد Yellow	خیلی بالا Very high	خوب Good	عالی Excellent	چیپس Chips
پرینس (Prince)	کشیده Elongated	عالی Excellent	متوسط دیررس Medium Late	سفید White	زرد Yellow	بالا High	طولانی Long	عالی Excellent	خلال Sliced
یوروواستارچ (Eurostarch)	گرد بیضی Round Oval	عالی Excellent	متوسط دیررس Medium Late	سفید White	زرد Yellow	بالا High	خوب Good	عالی Excellent	نشاسته Starch
شرگا (Serga) (به زبان مجارستانی)	گرد بیضی Round Oval	خوب Good	متوسط دیررس Medium Late	زرد Yellow	زرد Yellow	بالا High	خوب Good	خوب Good	سرخ کردن Frying
تکتا (Takta)	بیضی کشیده Elongated Oval	خوب Good	متوسط دیررس Medium Late	کرمی Cream	زرد Yellow	بالا High	خوب Good	خوب Good	تازه خوری Fresh food
جاوید (Javid)	گرد بیضی Round Oval	خوب Good	متوسط دیررس Medium Late	زرد Yellow	زرد Yellow	بالا High	خوب Good	خوب Good	تازه خوری Fresh food
ژنوتیپ ۱۰۴۳ (مجارستانی)	بیضی کشیده Elongated Oval	بالا High	متوسط زودرس Medium Early	زرد روشن Light Yellow	زرد Yellow	خیلی بالا Very high	طولانی Long	خوب Good	سرخ کردن Frying

۱- عملکرد غده قابل فروش: این شاخص نشان‌دهنده میزان محصولی است که از واحد سطح زمین قابل برداشت و قابل فروش است. به غده های با قطر بزرگ‌تر از ۳۵ میلی‌متر غده‌های قابل فروش و غده های با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر غده های غیرقابل فروش گفته می‌شود.

۲- زمان رسیدگی: از زمان کاشت تا زمان برداشت محصول است. این زمان بسته به رقم سیب‌زمینی، شرایط آب و هوایی و منطقه کشت متفاوت است. زمان رسیدگی برای سیب‌زمینی‌های زودرس، متوسط دیررس و دیررس متفاوت است.

۳- دورهٔ خواب: به مدت زمانی اشاره دارد که غده‌های سیب‌زمینی پس از برداشت برای انبارداری نیاز به استراحت دارند تا جوانه‌زنی آنها به تاخیر افتد. این دوره برای حفظ کیفیت و جلوگیری از کاهش وزن غده‌ها طی انبارداری اهمیت دارد. طول دوره خواب بسته به رقم سیب‌زمینی و شرایط انبارداری متفاوت است .

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Chemical properties of the soil at the test site

ویژگی‌های شیمیایی (Chemical properties)	مقدار(Amount)	ویژگی‌های شیمیایی (Chemical properties)	مقدار (Amount)
شوری (ds/m) Salinity	1.36	فسفر قابل جذب (ppm) Absorbable Phosphorus	4.72
pH	7.4	پتاسیم قابل جذب (ppm) Absorbable Potassium	274
درصد اشباع Saturation Percent	42	روی (ppm) Zinc	6.88
درصد آهک Lime Percent	4.05	آهن (ppm) Iron	6.92
		مس (ppm) Copper	7.4
درصد کربن آلی Organic Carbon Percent	0.78	منگنز (ppm) Manganese	15.04
درصد نیتروژن کل Total Nitrogen Percent	0.07	-	-
بافت Texture		لومی رسی Clay loam	

نتایج و بحث

براساس جدول ۳، حجم آب مصرفی در مرحلهٔ "شروع غده‌زایی تا برداشت غده‌ها" بیشترین مقدار است. این موضوع نشان می‌دهد سیب‌زمینی در این مرحله (غده‌زایی و پر شدن غده) بیشترین حساسیت و نیاز آبی را دارد و کم‌آبی در این مرحله بیشترین افت عملکرد را ایجاد می‌کند (جدول ۳). جدول ۴ میزان بارش موثر را در بازه زمانی رشد گیاه (اردیبهشت تا شهریور) نشان می‌دهد. اوج بارش‌ها در اردیبهشت و خرداد بود. این بارش‌ها همپوشانی با مراحل "کاشت تا شروع غده‌زایی" دارند. بارش در تیر ماه کاهش نشان می‌دهد که این ماه همپوشانی با "شروع غده‌زایی" دارد. بارش موثر در مرداد و شهریور ماه صفر است یعنی تمام نیاز آبی در دو ماه آخر رشد (که بسیار حساس است) باید صرفاً توسط آبیاری تامین شود. در سال ۱۴۰۴ به دلیل بارش موثر بیشتر، سهم باران در تامین نیاز آبی گیاه بیشتر بود. در مقابل، در سال ۱۴۰۳ که بارش کمتر بود، گیاه به آبیاری تکمیلی بیشتری وابسته بود (جدول ۴).

نتایج میانگین مربعات مرکب براساس امیدریاضی صفات مورد مطالعه (جدول ۶) نشان می‌دهد بین سطوح تنش کم‌آبی، ژنوتیپ‌ها، اثرمتقابل ژنوتیپ‌ها و سال، اثرمتقابل تنش کم‌آبی و ژنوتیپ‌ها و اثرمتقابل سه جانبه تنش کم‌آبی، ژنوتیپ‌ها و سال از لحاظ صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته و کارایی مصرف آب و بین سطوح تنش کم‌آبی، ژنوتیپ‌ها و اثرمتقابل تنش کم‌آبی و ژنوتیپ‌ها از لحاظ صفات تعداد غده در بوته، ارتفاع بوته، تعداد ساقهٔ اصلی در بوته، درصد ماده خشک غده و شاخص سطح برگ اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد وجود دارد (جدول ۶).

جدول ۳- میزان آب کاربردی در مراحل رشد سیب‌زمینی و تیمارهای آبیاری (متر مکعب در مساحت ۱۱/۲۵ مترمربع)

Table 3- Aplied water at different potato growth stages and irrigation treatments (m^3 per 11.25 square meter area)

مراحل آبیاری Irrigation stages	100%	80%	60%
کاشت planting	100	80	60
کاشت تا شروع غده‌زایی در هر نوبت Planting till beginning of tuberization	150	120	90
شروع غده‌زایی تا برداشت غده‌ها Beginning of tuberogenesis till the harvesting of the tuber	200	160	120

جدول ٤- مقدار بارندگی موثر (متر مکعب در مساحت ۱۱/۲۵ مترمربع)

Table 4- Effective rainfall (m^3 per 11.25 square meter area)

2025	2024	Month ماه
0.67	0.58	May اردیبهشت
0.47	0.35	June خرداد
0.32	0.20	July تیر
0.00	0.00	August مرداد
0.00	0.00	September شهریور

جدول ٥- امید ریاضی میانگین مربعات منابع تغییر

Table 5- Expected mean square of variation sources

منبع تغییر Source of Variation	امید ریاضی میانگین مربعات Expected mean square -
y	Var(Error) + Var(y*r*a*b) + 3 Var(y*a*b) + 3 Var(y*r*b) + 9 Var(y*b) + 16 Var(y*r*a) + 48 Var(y*a) + 48 Var(y*r) + 144 Var(y)
y*r	Var(Error) + Var(y*r*a*b) + 3 Var(y*r*b) + 16 Var(y*r*a) + 48 Var(y*r)
a	Var(Error) + Var(y*r*a*b) + 3 Var(y*a*b) + 16 Var(y*r*a) + 48 Var(y*a) + Q(a,a*b)
y*a	Var(Error) + Var(y*r*a*b) + 3 Var(y*a*b) + 16 Var(y*r*a) + 48 Var(y*a)
y*r*a	Var(Error) + Var(y*r*a*b) + 16 Var(y*r*a)
b	Var(Error) + Var(y*r*a*b) + 3 Var(y*a*b) + 3 Var(y*r*b) + 9 Var(y*b) + Q(b,a*b)
y*b	Var(Error) + Var(y*r*a*b) + 3 Var(y*a*b) + 3 Var(y*r*b) + 9 Var(y*b)
y*r*b	Var(Error) + Var(y*r*a*b) + 3 Var(y*r*b)
a*b	Var(Error) + Var(y*r*a*b) + 3 Var(y*a*b) + Q(a*b)
y*a*b	Var(Error) + Var(y*r*a*b) + 3 Var(y*a*b)
y*r*a*b	Var(Error) + Var(y*r*a*b)

ارقام و سطوح تنش کم‌آبی به‌عنوان متغیر ثابت و سال به‌عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته شده است.

Cultivars and water deficit stress are considered as fixed variables and year as random variable

جدول ٦- میانگین مربعات صفات مورد مطالعه ارقام سیب‌زمینی در تیمارهای تنش کم‌آبی طی دو سال آزمایش

Table 6- Mean squares of studied traits of potato cultivars in water deficit stress treatments during two years of experiment

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی Degree of Freedom	میانگین مربعات Meen Square			
		عملکرد غده Tuber yield	وزن غده در بوته Tuber weight per plant	تعداد غده در بوته Number of tubers per plant	ارتفاع بوته Plant height
سال Year (Y)	1	348.3	238116.15	0.011	245.68
Error 1	4	435.6	106783.68	0.056	1492.26
تنش کم‌آبی Water Deficit Stress (A)	2	6422.1**	353726.93**	16.89**	2244.1**
Y × A	2	27.8	18119.21*	0.037	43.38
Error 2	8	16.8	3844.57	0.377	238.87
ارقام Cultivars (B)	15	10179.1**	282070.49**	28.934**	1892.31**
Y × B	15	58.5*	24780.70*	0.020	0.498
Error 3	60	32.8	13577.14	0.149	3.317
A × B	30	20.5**	8064.14**	21.44**	234/00**
Y × A × B	30	15.5*	6018.63*	0.122	1.97
Error 4	120	9.6	3813.00	0.998	15.39
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)	-	10.21	10.8	10.41	6.57

* و **: معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد * and **: significance at the five and one percent probability levels .

ادامه جدول ٦- میانگین مربعات صفات مورد مطالعه ارقام سیب‌زمینی در تیمارهای تنش کم‌آبی طی دو سال آزمایش

Continued Table 6- Mean squares of studied traits of potato cultivars in water deficit stress treatments during two years of experiment

منابع تغییر Source of Variation (S.O.V.)	درجه آزادی (D.F.) Degree of Freedom	میانگین مربعات (M.S.) Meen Square			
		تعداد ساقهٔ اصلی در بوته Number of main stems per plant	کارایی مصرف آب Water use efficiency	درصد مادهٔ خشک غده Tuber dry matter percentage	شاخص سطح برگ Leaf area index
سال Year (Y)	1	0.003	10.79	0.021	0.013
Error 1	4	0.055	14.64	0.072	4.187
تنش کم‌آبی Water Deficit Stress (A)	2	25.323**	11.11**	19.68**	208.107**
Y × A	2	0.022	0.22	0.021	0.165
Error 2	8	0.49	0.31	0.013	0.128
ارقام Cultivars (B)	15	3.987**	24.34**	17.07**	31.47**
Y × B	15	0.011	2.25*	0.017	0.294**
Error 3	60	0.077	1.15	0.022	0.115
A × B	30	1.899**	۰0.99**	1.193**	3.525**
Y × A × B	30	0.012	0.23**	0.017	0.260**
Error 4	120	0.101	0.36	0.034	0.109
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)	-	7.51	10.69	5.86	8.35

* و **: معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد * and **: significance at the five and one percent probability levels .

در این آزمایش اثرمتقابل سه جانبه (سال، رقم و سطوح آبیاری) بر صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته و کارایی مصرف آب اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۶). مقایسهٔ میانگین عملکرد غده و وزن غده در بوته نشان می‌دهد بیشترین مقدار در ژنوتیپ ۱۰۴۳ مربوط به تیمار مقدار آب قابل استفاده ۱۰۰ و ۸۰ درصد و رقم یورواستارچ در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۱۰۰ درصد در سال ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ و رقم جاوید در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۱۰۰ درصد در سال ۱۴۰۳ است و در گروه مشترک آماری قرار دارند. ارقام یورواستارچ و لاریسا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۱۰۰ و ۸۰ درصد، ارقام جاوید و آتوسا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۱۰۰ درصد و ارقام رونا و ریلانا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۸۰ درصد در سال ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ بیشترین مقدار را دارند و در گروه مشترک آماری قرار گرفته‌اند (به دلیل حجم بالای جدول اثرمتقابل سه جانبه ارائه نشده است).

مقایسهٔ میانگین اثرمتقابل دو جانبه (رقم و سطوح آبیاری) صفات مورد مطالعه نشان می‌دهد بیشترین عملکرد غده و وزن غده در بوته در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد مربوط به ژنوتیپ ۱۰۴۳ و رقم یورواستارچ (گروه a) و رقم جاوید در گروه مشترک b هستند. از لحاظ صفت تعداد غده در بوته، ارقام یورواستارچ، لاریسا، آتوسا، جاوید و ریلاتا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۱۰۰ درصد، ارقام رونا، یورواستارچ و لاریسا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۸۰ درصد و ارقام رونا و آتوسا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۶۰ درصد دارای بالاترین مقدار هستند. بیشترین ارتفاع بوته در ژنوتیپ ۱۰۴۳ و رقم آگریا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۱۰۰ درصد، رقم آگریا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۸۰ درصد و ارقام ساوالان و آتوسا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۶۰ درصد مشاهده می‌شود (جدول ۷). از لحاظ صفت تعداد ساقهٔ اصلی در بوته، ارقام لاریسا و جلی در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۱۰۰ درصد، ارقام لاریسا و

تکتا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۸۰ درصد و رقم لاریسا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۶۰ درصد دارای بیشترین تعداد هستند. بیشترین درصد ماده خشک غده در ارقام ساوالان و رونا در تیمارهای مقدار آب قابل استفاده ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد به‌دست آمده است. کارایی مصرف آب در ژنوتیپ ۱۰۴۳ و رقم یورواستارچ در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۱۰۰ درصد، ژنوتیپ ۱۰۴۳، ارقام یورواستارچ و جاوید در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۸۰ درصد و ژنوتیپ ۱۰۴۳، ارقام یورواستارچ، آتوسا و جاوید در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۶۰ درصد دارای بیشترین مقدار هستند. از لحاظ صفت شاخص سطح برگ، ارقام رزا و جاوید در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۱۰۰ درصد، ارقام جاوید، لاریسا و رزا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۸۰ درصد و ارقام رزا، آتوسا، لاریسا و رونا در تیمار مقدار آب قابل استفاده ۶۰ درصد بیشترین مقدار را دارند (جدول ۷).

از لحاظ شاخص تحمل به تنش کم‌آبی (STi) در ارقام سیب‌زمینی در شرایط تنش ملایم و تنش شدید نسبت به شرایط نرمال ژنوتیپ ۱۰۴۳ و ارقام یورواستارچ و جاوید در گروه برتر قرار دارند و به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش ملایم و شدید انتخاب شده‌اند (جدول ۸).

جدول ۷- مقایسهٔ میانگین صفات مورد مطالعه در تیمار تنش کم‌آبی و ارقام سیب‌زمینی

Table 7. Mean comparison of studied traits in water deficit stress treatments and potato cultivars

ارتفاع بوته Plant height		تعداد غده در بوته Number of tubers per plant		وزن غده در بوته Tuber weight per plant		عملکرد غده Tuber yield		ارقام Cultivars	سطح آبیاری Irrigation level
82.26	ab	10.46	ghi	953.00	a	48.62	Ab	۱۰۴۳ 1043	۱۰۰ درصد آب قابل استفاده 100% of the plant's available water
71.35	ef	8.610	klmn	750.30	cd	37.29	Efg	ساوالان Savalan	
60.21	lm	7.990	mnop	637.00	fghijk	31.02	ijklmno	رونا Rona	
84.60	a	11.07	bcdefgh	708.60	de	34.60	Fgh	آگریا Agria	
80.02	bc	12.20	ab	977.40	a	47.90	A	یورواستارچEurostarch	
65.80	ghi	12.47	a	656.70	efghij	32.00	hijklm	لاریسا Larisa	
59.77	lm	7.790	nopq	788.40	c	38.59	E	تکتا Takta	
76.43	cd	12.07	abc	792.60	c	38.80	De	آتوسا Atoosa	
68.04	efg	10.42	ghi	656.40	efghij	37.20	hijkl	پرینس Prince	
53.98	opq	11.81	abcde	880.20	b	43.89	Bc	جاوید Javid	
61.20	jkl	10.60	fgh	875.80	b	43.74	Bc	رزا Roza	
50.25	qrs	7.190	opqr	617.50	ghijklm	30.77	jklmnop	جلی Jely	
54.49	opq	8.190	lmno	633.90	ghijkl	31.28	hijklmn	شرگا Serga	
54.70	nopq	8.610	klmn	561.50	mn	27.90	nopqrs	آرسنال Arsenal	
51.25	pqrs	10.21	hij	588.80	jklm	29.05	mnop	بابیلون Babylon	
54.94	nop	11.35	abcdefg	564.90	lmn	28.02	nopqrs	ریلانا Rilana	
59.04	lmn	11.00	cdefgh	869.90	b	42.13	Cd	۱۰۴۳ 1043	۸۰ درصد آب قابل استفاده 80% of the plant's available water
62.52	ijkl	7.790	nopq	679.70	efg	24.05	ghij	ساوالان Savalan	
52.19	opqrs	12.00	abcd	665.40	efgh	33.04	hijkl	رونا Rona	
77.75	c	9.410	ijk	559.30	mn	27.64	opqrst	آگریا Agria	
72.12	de	12.41	a	812.20	bc	40.49	Cde	یورواستارچEurostarch	
60.40	klm	11.81	abcde	594.00	ijklm	28.90	mnopq	لاریسا Larisa	
64.96	ghij	11.00	cdefgh	660.60	efghi	33.01	hijkl	تکتا Takta	
69.23	efg	11.00	cdefgh	705.20	def	34.43	fghi	آتوسا Atoosa	
68.56	efg	4.790	s	581.70	klm	28.25	nopqr	پرینس Prince	
54.12	opq	7.790	nopq	752.70	cd	37.60	Ef	جاوید Javid	
55.95	Mno	9.000	klm	646.70	efghijk	32.29	hijklm	رزا Roza	
38.91	Wx	11.01	cdefgh	436.80	qrst	21.59	wxy	جلی Jely	
61.14	Jkl	11.22	bcdefgh	471.90	pqrs	23.53	uvwx	شرگا Serga	
55.96	Mno	7.400	opqr	483.10	opqr	23.79	uvw	آرسنال Arsenal	
53.58	Opqr	6.80	qr	500.40	nopqr	24.76	rstuvw	بابیلون Babylon	
54.49	Opq	6.99	pqr	487.70	opqr	24.28	tuvw	ریلانا Rilana	

ادامه جدول ۷- مقایسهٔ میانگین صفات مورد مطالعه در تیمار تنش کم‌آبی و ارقام سیب‌زمینی

ارتفاع بوته Plant height		تعداد غده در بوته Number of tubers per plant		وزن غده در بوته Tuber weight per plant		عملکرد غده Tuber yield		ارقام Cultivars	سطح آبیاری Irrigation level
63.02	hijkl	10.80	efgh	686.90	defg	33.27	hijkl	۱۰۴۳ 1043	۶۰ درصد آب قابل استفاده 60% of the plant's available water
76.69	c	10.41	ghi	584.00	klm	28.96	mnopq	ساوالان Savalan	
49.43	rst	11.24	bcdefgh	507.20	nopq	25.20	rstuv	رونا Rona	
64.80	ghijk	7.690	nopqr	434.80	rst	21.85	vwxy	آگریا Agria	
67.02	fgh	10.49	ghi	674.00	efgh	33.60	hijk	یورواستارچEurostarch	
53.64	opqr	8.190	lmno	495.00	nopqr	24.70	stuvw	لاریسا Larisa	
50.67	pqrs	10.87	defgh	510.80	nop	25.47	qrstu	تکتا Takta	
83.95	ab	11.73	abcdef	604.20	hijklm	29.88	lmnop	آتوسا Atoosa	
54.11	opq	8.00	mnop	444.00	pqrs	21.37	wxy	پرینس Prince	
45.19	tuv	10.80	efgh	605.40	hijklm	30.30	klmnop	جاوید Javid	
40.85	vwx	9.200	jkl	548.00	mno	27.40	pqrst	رزا Roza	
45.52	tu	7.400	opqr	369.80	tu	18.48	Yz	جلی Jely	
48.28	st	5.190	s	402.40	st	20.02	Xy	شرگا Serga	
36.85	x	8.800	klmn	321.70	uv	16.08	Z	آرسنال Arsenal	
41.48	uvw	6.590	r	366.70	tu	18.33	Yz	بابیلون Babylon	
53.41	opqr	10.70	efgh	293.00	v	14.63	Z	ریلانا Rilana	
5.318	fgh	6.850	cdef	20.64	nopq	5.14	Bcd	۱۰۴۳ 1043	۱۰۰ درصد آب قابل استفاده 100% of the plant's available water
3.878	no	5.456	jklm	22.13	fgh	5.34	Bc	ساوالان Savalan	
5.645	ef	4.538	opqrst	22.95	c	5.34	Bc	رونا Rona	
6.128	d	5.062	lmnopq	20.58	opqr	4.27	Hij	آگریا Agria	
5.379	fg	7.008	cde	21.13	lm	4.54	Ghi	یورواستارچEurostarch	
6.932	c	4.682	nopqrs	20.55	pqr	5.80	A	لاریسا Larisa	
7.520	b	5.646	ijkl	18.81	v	4.74	Efg	تکتا Takta	
4.840	ij	5.676	ijkl	21.62	ijk	4.27	Hij	آتوسا Atoosa	
3.780	no	4.784	mnopqr	20.23	rst	5.07	Bcde	پرینس Prince	
7.922	a	6.422	efgh	20.64	nopq	4.61	Fgh	جاوید Javid	
7.924	a	6.400	efgh	20.97	lmn	4.80	Defg	رزا Roza	
4.911	i	4.502	pqrst	20.97	lmn	6.14	A	جلی Jely	
4.360	lm	4.577	opqrst	22.52	de	4.80	Defg	شرگا Serga	
2.705	q	4.082	stu	19.67	u	4.20	Ij	آرسنال Arsenal	
2.608	qr	4.251	rst	21.06	lm	3.80	Klm	بابیلون Babylon	
4.765	ijk	4.099	stu	20.11	st	4.54	Ghi	ریلانا Rilana	
4.506	jkl	7.706	ab	21.31	kl	2.74	r	۱۰۴۳ 1043	۸۰ درصد آب قابل استفاده 80% of the plant's available water
3.647	op	6.228	fghi	22.78	cd	3.54	mno	ساوالان Savalan	
4.420	klm	6.043	ghij	23.82	b	3.54	mno	رونا Rona	
5.810	de	5.055	lmnopq	20.45	qrs	4.27	hij	آگریا Agria	
4.410	klm	7.406	bc	21.83	ghij	4.20	ij	یورواستارچEurostarch	
5.840	de	5.286	klmn	20.78	mnopq	5.00	cde	لاریسا Larisa	
5.002	ghi	6.038	ghij	20.90	mnop	5.00	cde	تکتا Takta	
4.760	ijk	6.298	fghi	22.14	fgh	4.00	jkl	آتوسا Atoosa	
2.495	qr	5.168	lmnop	20.06	t	4.00	jkl	پرینس Prince	
6.788	c	6.878	cdef	20.83	mnop	3.40	nop	جاوید Javid	
5.820	de	5.907	hijk	21.00	lmn	3.80	klm	رزا Roza	
3.350	p	3.949	tu	21.02	lm	3.80	klm	جلی Jely	
3.510	op	4.304	rst	22.33	ef	4.00	jkl	شرگا Serga	
1.240	vw	4.352	rst	20.23	rst	4.61	fgh	آرسنال Arsenal	
1.908	st	4.529	opqrst	20.95	lmn	3.00	qr	بابیلون Babylon	
3.540	op	4.442	qrst	20.55	pqr	4.07	jk	ریلانا Rilana	

ادامه جدول ۷- مقایسهٔ میانگین صفات مورد مطالعه در تیمار تنش کم‌آبی و ارقام سیب‌زمینی

سطح آبیاری Irrigation level	ارقام Cultivars	عملکرد غده Tuber yield		وزن غده در بوته Tuber weight per plant		تعداد غده در بوته Number of tubers per plant		ارتفاع بوته Plant height	
۶۰ درصد آب قابل استفاده 60% of the plant's available water	۱۰۴۳1043	3.30	opq	21.89	ghi	7.056	a	st	1.981
	Savalanساوالان	3.66	lmn	23.05	c	6.139	bcde	rs	2.261
	Ronaرونا	3.40	nop	24.84	a	5.323	ghij	p	3.371
	Agriaآگریا	4.00	jkl	21.50	jk	8.189	klmn	qr	2.610
	Eurostarchیورواستارچ	4.90	def	22.03	fgh	6.018	a	rs	2.261
	Larisaلاریسا	5.36	b	20.93	mno	6.206	ghij	op	3.670
	Taktaتکتا	5.00	cde	21.00	lmn	7.281	fghi	st	1.895
	Atoosaآتوسا	4.27	hij	22.78	cd	5.207	bcd	mn	4.126
	Princeپرینس	4.10	jk	20.93	mno	7.383	lmno	tu	1.750
	Javidجاوید	4.80	defg	20.94	mno	6.677	bc	qr	2.590
	Rozaرزا	3.30	opq	21.05	lm	4.504	defg	hi	4.0965
	Jelyجلی	3.49	mno	21.78	hij	4.877	pqrst	tu	1.860
	Sergaشرگا	4.10	jk	22.17	efg	3.918	mnopqr	w	1.110
	Arsenalآرسنال	3.30	opq	22.11	fgh	4.467	tu	w	1.000
	Babylonبابیلون	3.10	pq	21.05	lm	3.565	Qrst	uv	1.490
	Rilanaریلانا	3.30	opq	20.98	lmn	7.056	U	w	1.030

جدول ۸- شاخص تحمل به تنش کم‌آبی (STi) در ارقام سیب‌زمینی در شرایط تنش ملایم و شدید نسبت به شرایط نرمال

Table 8- Water deficit stress tolerance index in potato cultivars under mild and severe stress conditions compared to normal condition

ارقام Cultivars	نرمال (۱۰۰ درصد آب قابل استفاده) Normal (100% available water)	تنش ملایم (۸۰ درصد آب قابل استفاده) Mild stress (80% available water)	تحمل به تنش Stress Tolerance (STi)	تنش ملایم (۶۰ درصد آب قابل استفاده) Severe stress (80% available water)	تحمل به تنش Stress Tolerance (STi)
۱۰۴۳ 1043	46.82	42.13	**0.639**	33.27	**0.505**
ساوالان Savalan	37.29	34.05	0.411	28.96	0.350
رونا Rona	33.04	31.02	0.332	25.20	0.253
آگریا Agria	34.60	27.64	0.310	21.85	0.245
یورواستارچEurostarch	47.90	40.49	**0.629**	33.60	**0.522**
لاریسا Larisa	32.00	28.90	0.300	24.70	0.256
تکتا Takta	38.59	33.01	0.413	25.47	0.319
آتوسا Atoosa	38.80	34.43	0.433	29.88	0.376
پرینس Prince	32.70	28.25	0.299	21.37	0.226
جاوید Javid	43.89	37.60	**0.535**	30.30	**0.431**
رزا Roza	43.74	32.29	0.458	27.40	0.388
جلی Jely	30.77	21.59	0.215	18.48	0.184
شرگا Serga	31.28	23.53	0.239	20.02	0.203
آرسنال Arsenal	27.90	23.79	0.215	16.08	0.145
بابیلون Babylon	29.05	24.76	0.233	18.33	0.173
ریلانا Rilana	28.02	24.28	0.220	14.63	0.133
میانگین عملکرد	۳۶/۰۲	۳۰/۴۹		۲۴/۳۵	
درصد کاهش عملکرد		۱۵/۴ درصد		۳۲/۴ درصد	

بیشترین عملکرد غده، وزن غده در بوته و کارایی مصرف آب در شرایط نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، تنش ملایم (تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی) و شدید (تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی) در ژنوتیپ ۱۰۴۳، ارقام یورواستارچ و رقم جاوید دیده می‌شود. متوسط کاهش عملکرد غده در ارقام سیب‌زمینی در شرایط تنش ملایم ۱۵ درصد و در شرایط تنش شدید ۳۲ درصد است. برای جلوگیری از کاهش عملکرد غده، استفاده از ژنوتیپ ۱۰۴۳، ارقام یورواستارچ و رقم جاوید در شرایط کم‌آبیاری در مناطق معتدل و سردسیر مناسب است. کانتوری و همکاران (Cantore *et al*., 2014) میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش شدید نسبت به نرمال را ۲۵ درصد گزارش کرده‌اند و نتیجه گرفته‌اند رقم اسپونتا در شرایط نرمال دارای عملکرد ۴۰/۹ تن در هکتار و در شرایط تنش شدید (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی) ۳۰/۳ تن در هکتار است. کاهش عملکرد و اجزای آن در اثر تنش کم‌آبی در سیب‌زمینی را برخی از محققان از جمله دانلی و همکاران (Donnelly *et al*., 2003) و شیتنهلما و همکاران (Schittenhelma *et al*., 2006) در ارتفاع بوته، شیتنهلما و همکاران (Schittenhelma *et al*., 2006) و بادارو و همکاران (Badarau *et al*., 2013) در تعداد غده در بوته، شاک و فیبرت (Shock and Feibert, 2002)، شیتنهلما و همکاران (Schittenhelma *et al*., 2006)؛ ایرنا و موروماکال (۲۰۰۶)؛ حسن‌پناه (Hassanpanah, 2009)؛ بادارو و همکاران (Badarau *et al*., 2013)؛ اوبیدیگان و همکاران (Obidiegwu *et al*., 2015)؛ محمدخانی و شریفی (Mohammadkhani and Sharifi, 2016)؛ دراپال و همکاران (Drapal *et al*., 2019)؛ کوین و همکاران، (Qin *et al*., 2019)؛ آلیچه و همکاران، (Aliche *et al*., 2020)؛ نصرالله‌زاده و صداقت (Nasrollahzadeh and Sedaghat, 2017)؛ سبحانی و حمیدی (Sobhani and Hamidi, 2013)؛ حقیقتی و همکاران (Haghighati *et al*., 2016)؛ فریدی مایوان و همکاران (Faridi Myvan *et al*., 2018)؛ در عملکرد غده گزارش شده است.

در این آزمایش، ارقام متحمل به تنش کم‌آبی تعداد غدهٔ کمتر اما اندازه غده بیشتر دارند. آل‌محمود و همکاران (Al-Mahmud *et al*, 2014) نتیجه گرفتند ارقامی که تعداد غده کمتر تولید می‌کنند می‌تواند موجب برقراری تعادل در توزیع مواد پرورده به غده‌ها شوند و بنابراین اندازهٔ غده‌ها بزرگ‌تر می‌شود. ایاز و کوروکچو (Ayas and Korukcu, 2010) گزارش کردند تعداد غده در بوته بستگی دارد به میزان آب آبیاری. درصد ماده خشک غده در شرایط تنش کم‌آبی نیز نسبت به شرایط نرمال بیشتر است. واسیتر (Vasiter, 2014) در پژوهش‌های خود نتیجه گرفت مقدار ماده خشک غده‌های سیب‌زمینی با افزایش تنش رطوبتی افزایش می‌یابد مستعلیزاده و همکاران (Mastalizadeh *et al*., 2020) گزارش دادند با کاهش عملکرد غده تحت تنش کم‌آبی، درصد ماده خشک، درصد نشاسته و مقدار پروتئین افزایش می‌یابد.

در این تحقیق، کارایی مصرف آب در ارقام متحمل به کم‌آبی در شرایط تنش ملایم و شدید افزایش نشان داده است. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al*., 2014) گزارش کردند با اعمال کم‌آبیاری بهره‌وری مصرف آب افزایش پیدا می‌کند. باسیو (Baciu, 2013) می‌گوید ارقام دیررس نسبت به ارقام متوسط زودرس در شرایط خشکی افزایش عملکرد نشان نمی‌دهند. سمائی و همکاران (Samaee *et al*., 2017) گزارش داده‌اند بیشترین میزان بهره‌وری آب بر مبنای عملکرد غدهٔ قابل فروش در تیمار تنش در ژنوتیپ ۲-۳۹۷۰۶۹ مشاهده شده است. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al*., 2014) اعلام کردند کم‌آبیاری موجب افزایش جذب آب و افزایش کارآیی و بهره‌وری مصرف آب می‌شود

تنش آبی تشکیل برگ‌های جدید و گسترش آن را تا اندازهٔ کامل متوقف می‌کند و در نتیجه باعث کاهش عملکرد و حجیم شدن غده‌ها می‌شود (Anithakumari, 2011). از سوی دیگر، راهبردهای مختلفی می‌تواند توسط گیاه سیب‌زمینی برای سازگاری با شرایط خشکی و تنش آبی اتخاذ شود (Al-Mahmud *et al*, 2014). تنش خشکی موجب توقف تشکیل غدهٔ همسان، تشکیل استولون

می‌شود، بنابراین خشکی با این روش تعداد غده‌های تشکیل شده را متناسب با نحوهٔ برقراری تنش خشکی و طول مدت آن کاهش می‌دهد و هنگامی که آبیاری پس از اعمال تنش اجرا می‌شود، رشد غده‌ها دوباره از سر گرفته خواهد شد و غده‌های بدشکل، گلابی شکل و زنگوله‌ای تشکیل می‌شود و در نهایت ظرفیت عملکرد قابل فروش گیاه را کاهش می‌دهد (Vasiter, 2014).

اسکندری و همکاران (Eskandari *et al*., 2011) طی آزمایش‌هایی نشان دادند که کاهش حجم آبیاری در سیب‌زمینی به‌دلیل حساس بودن این گیاه به کمبود رطوبت خاک، به‌خصوص در آغاز غده‌بندی، باعث افت عملکرد غدهٔ می‌گردد. قطع آبیاری در مرحلهٔ حجیم شدن غده‌ها باعث کاهش فتوسنتز می‌شود و در اثر آن مادهٔ غذایی کمتری به غده‌ها منتقل خواهد شد و اندازهٔ غده‌ها کاهش می‌یابد. مرحلهٔ غده‌بندی در سیب‌زمینی کوتاه‌مدت و حدود دو هفته است، بنابراین هر گونه تنش خشکی در این مرحله می‌تواند خسارت جبران‌ناپذیری وارد سازد و تعداد غده در بوته را که یکی از اجزا مهم عملکرد سیب‌زمینی است کاهش دهد. بنابراین، کاهش تعداد غده در بوته می‌تواند به‌طور مؤثری عملکرد غده را کاهش دهد. اسکندری و همکاران (Eskandari *et al*., 2011) اعلام کردند که نیاز آبی سیب‌زمینی در مراحل مختلف نمو یکسان نیست به‌طوری که این گیاه در اوایل رشد رویشی احتیاج چندانی به رطوبت زیاد ندارد، ولی نیاز رطوبتی گیاه در مرحله گل دادن که همزمان با تشکیل غده است به حداکثر می‌رسد. نتیجه تحقیق دیگری مشخص کرد به‌دلیل تحمل پایین گیاه سیب‌زمینی به تنش آبی، کمبود آب منجر به کاهش عملکرد سیب‌زمینی از طریق کاهش رشد کانوپی و زیست‌توده (بیوماس) تولیدی می‌گردد (Abubaker *et al*., 2014).

تنش خشکی در مراحل مختلف فنولوژیکی سیب‌زمینی می‌تواند موجب تأخیر در استقرار اولیهٔ گیاه، کاهش تولید استولون، کاهش غده‌دهی و ممانعت از حجیم شدن غده‌ها باشد (Obidiegwu *et al*., 2015). برای غده‌دهی مناسب، پیش از غده‌دهی و حین غده‌دهی پتانسیل آب در خاک نباید کمتر از ۲۵ کیلوپاسکال باشد (Drapal *et al*., 2019). تنش‌های شدید و دراز مدت در اوایل فصل رشد ممکن است تسهیم مواد را به نفع اندام‌هایی به‌جز غده‌ها تغییر دهد (Aliche *et al*., 2020). نصرالله‌زاده و صداقت (Nasrollahzadeh and Sedaghat, 2017) طی آزمایشی اعلام کردند در مرحله حجیم شدن غده‌ها تنش خشکی باعث کاهش فتوسنتز و انتقال کمتر مواد فتوسنتزی به غده‌ها می‌شود و در اثر آن وزن غده‌ها کاهش می‌یابد. این محققان همچنین گزارش کردند، تیمار تنش خشکی در مرحلهٔ غده‌بندی موجب کاهش معنی‌دار تعداد غده، اندازهٔ غده، میانگین وزنی غده و عملکرد غده سیب‌زمینی می‌شود.

حسن‌پناه و همکاران (Hassanpanah *et al*., 2008) و حسن‌پناه (Hassanpanah, 2009) به این نتیجه رسیدند که مراحل ابتدایی تشکیل غده و حجیم شدن غده حساس‌ترین مرحله رشد سیب‌زمینی به تنش کم‌آبی است. برای غربال کردن ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی در سیب‌زمینی، از این موضوع‌ها استفاده می‌شود: چگونگی توزیع مواد پرورده (آسیمیلات‌ها) و کل وزن زنده تولید شده تحت شرایط تنش (Coleman, 2008)، توانایی بقا در شرایط تنش شدید خشکی بدون از بین رفتن برگ‌ها (Coleman, 2008)، حداکثر شاخص سطح برگ (Deshi *et al*., 2015)، ریزش دیرتر برگ‌ها در شرایط خشکی (Lahlou *et al*., 2003) حداکثر شاخص سطح برگ و دورهٔ دوام برگ (Al-Mahmud *et al*, 2014)، حداکثر شاخص سطح برگ و مدت زمان حفظ آن (Deshi *et al*., 2015) و بیشترین میزان نسبی آب و میزان و شاخص کلروفیل و کمترین میزان نشت الکترولیت‌ها.

سیب‌زمینی در دوره استولون‌زایی و تشکیل غده نسبت به خشکی حساس است و خشکی زیاد تعداد غده در بوته را کاهش می‌دهد. خشکی زیاد همچنین بر عملکرد غده کل، عملکرد غده قابل فروش، کیفیت غده مانند: شکل، غده‌های غیرعادی، مقدار مادهٔ خشک غده، اندازه و ترکیب‌های شیمیایی آن مؤثر است (Al-Mahmud *et al*, 2014). در حقیقت می‌توان گفت که وزن تر غده‌های سالم و اندازهٔ

غده‌ها تعیین کنندهٔ عملکرد قابل فروش سیب‌زمینی است که به شدت تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرد (Samaee *et al.*, 2017). در تحقیقات اسکندری و همکاران (Eskandari *et al.*, 2011) با بررسی اثر رژیم آبیاری بر عملکرد و برخی ویژگی‌های کیفی ارقام سیب‌زمینی گزارش شد که با افزایش حجم آب آبیاری، همهٔ صفات کمی و کیفی مورد مطالعه به‌جز وزن مخصوص غده بهبود می‌یابد و از نظر درصد ماده خشک و نشاستهٔ غده، رژیم آبیاری تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی نسبت به سایر رژیم‌های آبیاری برتری دارد. ایاز و کوروکچو، (Ayas and Korukcu, 2010) گزارش کردند تعداد غده در بوته به شدت وابسته به میزان آب آبیاری است، به‌طوری‌که در آبیاری کامل میانگین تعداد غدهٔ قابل فروش در بوته ۷/۳۵ و در تیمار ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی ۳/۵۵ عدد است.

نتیجه‌گیری

تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان است. نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی تأثیر معنی‌داری بر رشد رویشی و کیفیت غده سیب‌زمینی دارد، اما پاسخ این صفات وابسته به ژنوتیپ و شدت تنش است. تحلیل‌های آماری حاکی از آن است که اثر متقابل ژنوتیپ، سال کشت و رژیم آبیاری بر عملکرد غده و کارایی مصرف آب معنی‌دار است. براساس شاخص تحمل به تنش (STi)، ژنوتیپ ۱۰۴۳ و ارقام یورواستارچ و جاوید به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در برابر تنش‌های ملایم (۸۰ درصد نیاز آبی) و شدید (۶۰ درصد نیاز آبی) شناسایی شدند. این ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش شدید، کمترین افت عملکرد را نسبت به دیگر ارقام نشان دادند. به طور میانگین، اعمال تنش ملایم و شدید منجر به کاهش ۱۵ درصد و ۳۲ درصد عملکرد غده می‌شود. مطالعهٔ تغییرات ریخت‌شناسی نشان داده است گیاه سیب‌زمینی تحت تنش آبی استراتژی سازگاری متفاوتی را اتخاذ می‌کند، به‌طوری که تعداد غده در بوته و شاخص سطح برگ به دلیل توقف رشد رویشی کاهش می‌یابد (حدود ۱۸ و ۵۵ درصد کاهش در تنش شدید)، اما ژنوتیپ‌های متحمل می‌توانند با افزایش اندازه غده و وزن مخصوص، کیفیت محصول را حفظ کنند. درصد ماده خشک غده نیز در شرایط تنش افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده غلظت بیشتر مواد پرورده در حجم آب کمتر است. نکتهٔ مهم افزایش کارایی مصرف آب در ژنوتیپ‌های متحمل است. به‌علاوه، در شرایط تنش ملایم و شدید، کارایی مصرف آب به ترتیب ۷ و ۱۳ درصد افزایش نشان داده است. این یافته‌ها بیانگر آن است که محدود کردن آبیاری در کنار استفاده از ارقام متحمل، نه‌تنها باعث تلفات شدید نمی‌شود، بلکه راندمان استفاده از آب را بهبود می‌بخشد. با توجه به پایداری عملکرد غده، حفظ کیفیت غده و افزایش کارایی مصرف آب، کشت ژنوتیپ‌های ۱۰۴۳، یورواستارچ و جاوید تحت رژیم آبیاری تنش ملایم (۸۰ درصد نیاز آبی) به عنوان بهترین راهکار برای مدیریت منابع آب و تولید پایدار سیب‌زمینی در مناطق معتدل و سردسیر با محدودیت آبی توصیه می‌شود.

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

حمایت های مالی این تحقیق از محل اعتبار پژوهشی سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل صورت گرفته است. بدینوسیله از حمایت مدیریت سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل تقدیر می شود.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است. مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان در مطالعه و طراحی مقاله و تحقیق مشارکت داشته‌اند. جمع‌آوری داده‌ها و پیاده‌سازی توسط تمامی نویسندگان (ک.ا.گ.؛ د.ح.؛ ا.م.گ.؛ ی.ج.ج.)

و تجزیه و تحلیل و جمع‌بندی نتایج توسط د.ح. انجام شده است. نسخه اولیه مقاله توسط د.ح. نوشته شده و تمامی نویسندگان (ک.ا.گ.؛ د.ح.؛ ا.م.گ.؛ ی.ج.ج.) پیشنهادات خود را بر روی نسخه اولیه ارائه شده اعمال نموده¬اند. اصلاحات و ویرایش نهایی توسط د.ح. در متن نهایی اعمال شده و تمامی نویسندگان نسخه نهایی را بررسی نموده‌اند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از مدیریت موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (SPII)، سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل تشکر و قدردانی می‌کنند. این تحقیق با حمایت مالی سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل انجام شده است.

مراجع

Abubaker, B. M. A., Shuang-En, Y., Guang-Cheng, S., Alhadi, M. & Elsiddig, A. (2014). Effect of irrigation levels on the growth, yield and quality of potato. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *20(2)*, 303-309.

Ahmadi, S. H., Agharezaee, M., Kamgar-Haghighi, A. & Sepaskhah, A. R. (2014). Effects of dynamic and static deficit and partial root zone drying irrigation strategies on yield, tuber sizes distribution and water Productivity of two field grown potato cultivars. *Agricultural Water Management*, *134*, 126-136. doi.org/10.1016/j.agwat.2013.11.015.

Aliche, E. B., Theeuwen, T. P., Oortwijn, M., Visser, R. G. & Van der Linden, C. G. (2020). Carbonpartitioning mechanisms in potato underdrought stress. *Plant Physiology and Biochemistry, 146*, 211-21.

Allen, R. G., Pereia, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations

Al-Mahmud, A., Hossain, A., Al-Mamun, A., Ebna Habib, S. H., Rahaman, S. H., Ali Khan, S. H. & Bazzaz, M. (2014). Plant canopy, tuber yield and growth analysis of potato under moderate and severe drought condition. *Journal of Plant Sciences*, *25*, 201-208.

Anithakumari, A. M. (2011). Genetic dissection of drought tolerance in potato (Ph. D. Thesis), Wageningen University, Netherlands.

Anon. 2025. Ministry of Agricultural Jihad, Deputy for planning and economy, information and communication technology center.

Anonymous. 2024. Bulletin of the Iranian Meteorological Society.

Ayas, S. & Korukcu, A. (2010). Water-yield relationships in deficit irrigated potato. *Journal of Agriculture Faculty of Uludag University, 24 (2)*, 23-36.

Baciu, A. (2013). Reaction of native potato varieties to water stress. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology., 17(2)*, 80-86.

Badarau, C. L., Marculescu, A. & Chiru, N. (2013). The effects of new treatments on PVY infected potato plants under drought conditions. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov Series II: Forestry & Wood Industry & Agricultural Food Engineering*, *6(55)*, 99-104.

Boyd, N. S., Gordon, R. & Martin, R. C. (2002). Relationship between leaf area index and ground cover in potato under different management conditions. *Potato Research*, *45*, 117-129.

Cantore, C., León-Ledesma, M., McAdam, P. & Willman, A. (2014). Breeding potato for quality improvement. *Journal of the European Economic Association, 12(1)*, 108-128.

Coleman, W. K. (2008). Evaluation of wild Solanum spicies for drought resistance Solanum gandarillasii Cardenas. *Environmental and Experimental Botany Journal, 62*, 221-230.

Debiao, F., Jianying, J., Qiaozhen, L., Huarong, R., Xin, W. & Xingguo, Y. (2012). A determination method of correction coefficient of potato leaf area. *Resources Science, 34(8)*,1533-1537.

Deshi, K. E., Obasi, M. O., Odiaka, N. I., Kalu, B. A. & Ifenkwe, O. P. (2015). Leaf area index values of potato (*Solanum tuberosum* L.) stored for different periods in different kinds of stores. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science, 81*, 9-19.

Donnelly, D. J. Coleman, W. K. & Coleman, S. E. (2003). Potato micro-tuber production and performance. *A Review American Journal of Potato Research. 80*, 103-115.

Drapal, M., Farfan-Vignolo, E. R., Gutierrez, O. R., Bonierbale, M., Mihovilovich, E. & Fraser, P. D. (2019). Identification of metabolites associated with water stress responses in *Solanum tuberosum* L. clones. *Phytochemistry, 135*, 24-33.

Eskandari, A., Khazaie, H., Nezami, A. & Kafi, M. (2011). Study the effects of irrigation regimes on yield and some qualitative characteristics of three cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Water and Soil, 25(2),* 240-247. doi: 10.22067/jsw.v0i0.9299.

Faridi Myvan, F., Jami Al-Ahmadi, M., Eslami, S. V. & Shojaei Noferest, K. (2018). Studying the effect of planting pattern and potassium fertilizer levels on some physiological characteristics and yield of potatoes (*Solanum tubersum* L.) under different irrigation levels. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 11(3),* 547-560. doi: 10.22077/escs.2018.895.1178

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress effect mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development, 29,* 185-212.

Frenandez, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress. Taiwan. pp 257-270.

Haghighati, B., Bromand Nasab, S. & Naseri, A. 2016. Effect of irrigation water amount bon yield, some qualitative characteristics and water productivity of two potato cultivars. *Crop Physiology Journal, 28(7),* 45-60.

Hassanpanah, D. (2009). Effects of water deficit and potassium humate on tuber yield and yield. *Iranian Research Journal of Environmental Sciences, 3,* 351-356.

Hassanpanah, D., Gurbanov, E., Gadimov, A. & Shahriari, R. (2008). Determination of yield stability in advanced potato cultivars as affected by water deficit and potassium humate in Ardabil region, Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 15,* 1354-1359.

Kazemi, M., Banayan Aval, M. & Ghorbani, R. (2016). Quantitative analysis of food security in Khorasan razavi province based on potato production. *Applied Field Crops Research, 29(3),* 63-75. doi: 10.22092/aj.2016.112699

Lahlou, O., Ouattar, S. & Ledent, J. F. (2003). The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. *Agronomie, 23(3),* 257-268.

Mani, F. & Hannachi, C. (2015). Physiology of potato sprouting. *Journal of new science, 17(2),* 591- 602.

Mastalizadeh, B., khajoei-Nejad, G. & Moradi, R. (2020). Assessing physico-chemical properties of potato as affected by different irrigation methods. *Plant Process and Function; 9 (36),* 33-48

Mohammadkhani, N. and P. Sharifi. (2016). Anti-oxidative response of different wheat genotypes to drought during anthesis. Iranian Journal of Plant Physiology. 6(4): 1845-1854.

Nasrollahzadeh, A. & Sedaghat, G. (2017). Effects of planting depth and irrigation disruption on yield and yield components in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Crop Science Research in Arid Regions, 1(1),* 109-119. doi: 10.22034/csrar.01.01.09

Obidiegwu, J. E., Bryan, G. J., Jones, H. G. & Prashar, A. (2015). Coping with drought stress and adaptive responses in potato, perspectives for improvement. *Frontiers in plant science, 6(542),* 1-23.

Qin, J., Bian, C., Liu, J., Zhang, J. & Jin, L. (2019). An efficient greenhouse method to screen potato genotypes for drought tolerance. *Scientia Horticulturae, 253,* 61-69.

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

Schittenhelma, S., Sourell, H. & Lopmeierc, F. J. (2006). Drought resistance of potato cultivars with contrasting canopy architecture. *European Journal Agronomy, 24,* 193-202.

Shock, C. C. & Feibert, E. B. G. (2002). *Deficit irrigation of potato. In P. Moutonnet (Ed.)* Deficit Irrigation Practices (pp 47-55). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Sobhani, A. R. & Hamidi, H. (2013). Effects of water deficit stress and potassium on yield and water use efficiency of potato by line source sprinkler irrigation. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 6(1),* 1-15. doi: 10.22077/escs.2013.133

Vasiter, K. E. (2014). Inheritance of tolerance to drought from selected (*Solanum tuberosum*) cultivars in Uganda (M.Sc. Thesis), Plant breeding and seed systems of makerere, Uganda.

Villa, P. M., Sarmiento, L., Rada, F. J., Machado, D. & Rodrigues, A. C. (2017). Leaf area index of potato (*Solanum tuberosum* L.) crop under three nitrogen fertilization treatments. *Agronomía Colombiana, 35(2),* 171-175.