

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 2, 2025, P. 363-374

Evaluation of some indicators of tolerance to drought stress in four potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars

Amir Hooshang Jalali ^{*a}, Ahmad Mousapour Gorji ^b

^a Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

^b Department of Vegetable, Seed and Plant Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran

*Corresponding Author: jalali51@yahoo.com

Received: 3 January 2024

Accepted: 8 May 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.433833.1391

How to cite this article:

Jalali, A. H., and Mousapour Gorji, A. 2025. Evaluation of some indicators of tolerance to drought stress in four potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 363–374. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2024.433833.1391>

Abstract

Introduction: Among different abiotic stresses, drought is one of the main inhibiting factors that affects all growth and metabolic processes and ultimately reduces crop productivity. As a plant that is sensitive to drought stress, the performance of potato reduced due to the decrease in the efficiency of photosynthesis, loss of tubers, and reduction in tubers. With the increase of global warming and climate changes, some models show that by 2069, if drought-adapted cultivars are not used in Iran, we will see a 48.3% drop in yields. In a research, two stress sensitivity indices (SSI) and stress tolerance index (STI) were used to determine the drought tolerance of 20 potato genotypes and two genotypes with higher yield were isolated. In a study in Turkey, stress sensitivity index (SSI), stress tolerance index (STI) and yield stability index (YSI) were used to compare the yield of four potato cultivars and the results showed that Atlas and Maranka cultivars had values of 0.61 and 0.67 respectively, had the lowest stress sensitivity index.

Materials and Methods: This research was conducted in the year 2021 at the agricultural and natural resources research station of Rozveh, Chadegan city (longitude 50 degrees 34 minutes east and latitude 32 degrees 50 minutes north) at an altitude of 2230 meters above sea level. To conduct the research, the experiment of split plots used in the form of a randomized complete block design with three replications. The main factor included two levels of irrigation (full irrigation at field capacity humidity as control and irrigation at 75% of field capacity humidity as stress treatment) and the secondary factor included four varieties (Agria, Marfona, Atosa and Anusha). Each plot consisted of four rows of four meters long, in which the distance between and on the row considered 75 and 25 cm, respectively. The aerial organs pruned to thicken the skin of the tuber and prevent injuries during harvesting. The indicators of drought tolerance used in this research were stress sensitivity indices (SSI), stress tolerance index (STI), yield stability index (YSI), mean productivity index (MPI) and geometric mean productivity (GMP). In order to estimate yield and yield components, two meters taken from the middle rows of each plot. SAS software (version 9.1) used to analyze the data, and Duncan's multiple range mean comparison test used to compare the means (at a 5% probability level).

Results and Discussion: The interaction of irrigation factors and variety on yield (total, salable and non-salable) and stress sensitivity indices, stress tolerance index and yield stability index were



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

significant at the 5% probability level and on the average productivity and geometric mean indices at the 1% probability level. By producing 36.20 tons of salable yield per hectare, Atosa cultivar produced 37 and 31% more yield than Marfona and Agria cultivars, respectively, but there was no significant yield difference with Anusha cultivar. The stress tolerance index ranged from 0.48 (Marfona cultivar) to 1.03 (Atosa cultivar) and the average productivity index ranged from 26.67 in Marfona cultivar to 38.82 in Atosa cultivar. Among the four cultivars studied in this research, three cultivars, Atosa, Anousha and Agria, with a yield stability index of 76.90, 78.52 and 78.56% in a statistical group and Marfona cultivar with a yield stability index of 72.87% in a statistical group placed. Usually, cultivars that have higher tolerance to stress (due to morphological and physiological characteristics) also show more stability of performance under stress conditions. The water use efficiency of Agria, Atosa and Anusha cultivars under water stress conditions increased by 20, 18 and 16%, respectively. The results of this research showed that in the range of stresses applied in this study; two new cultivars of Atosa and Anusha have acceptable tolerance to moisture stress and can be included in the cultivation pattern of different regions in Isfahan province.

Conclusion: In all four cultivars tested in this study, moisture stress decreased tuber yield, but the amount of yield loss was different in these cultivars. Two relatively new potato cultivars, Atosa and Anusha, were superior to Agria and Marfona by producing 31.5 and 30 tons of salable yield, respectively. Performance evaluation using stress evaluation indicators shows that the two cultivars of Atosa and Anusha can have a suitable position in the conditions of conventional drought stress (in this study, irrigation of 75% of moisture to the extent of field capacity) in the crop rotations of Isfahan province. Based on the results observed between yield under stress conditions and stress-free conditions with stress tolerance indices, average productivity and geometric mean of these three indices were more suitable for evaluating cultivars than the stress sensitivity index.

Keywords: Geometric mean productivity, Mean productivity index, Salable yield, Stress tolerance index

ارزیابی برخی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و کارایی مصرف آب در چهار رقم سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

امیر هوشنگ جلالی^{۱*}، احمد موسی پور گرجی^۲

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۲- بخش تحقیقات سبزی و صیفی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* مسئول مکاتبه: jalali51@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.433833.1391

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳

چکیده

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی رزوه، شهرستان چادگان با استفاده از آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل دو سطح آبیاری (آبیاری کامل در حد رطوبت ظرفیت مزرعه به عنوان شاهد و آبیاری در ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه به‌عنوان تیمار تنش) و عامل فرعی شامل چهار رقم سیب‌زمینی (آگریا، مارفونا، آتوسا و آنوشا) بودند. نتایج نشان داد که رقم آتوسا با تولید ۳۶/۲۰ تن عملکرد در هکتار نسبت به دو رقم مارفونا و آگریا به ترتیب ۳۷ و ۳۱ درصد به طور معنی‌داری عملکرد بیشتری تولید نمود؛ ولی تفاوت عملکرد قابل فروش آن با رقم آنوشا معنی‌دار نبود. شاخص تحمل تنش دامنه‌ای از ۰/۴۸ (رقم مارفونا) تا ۱/۰۳ (رقم آتوسا) و شاخص میانگین بهره‌وری دامنه‌ای از ۲۶/۶۷ در رقم مارفونا تا ۳۸/۸۲ در رقم آتوسا داشتند. شاخص ثبات عملکرد در سه رقم آتوسا، آنوشا و آگریا به ترتیب برابر ۷۶/۹۰، ۷۸/۵۲ و ۷۸/۵۶ درصد بود که به طور معنی‌دار نسبت به این شاخص در رقم مارفونا (۷۲/۸۷ درصد) بیشتر بود. کارایی مصرف آب ارقام آگریا، آتوسا و آنوشا در شرایط تنش خشکی به ترتیب ۲۰، ۱۸ و ۱۶ درصد افزایش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که در دامنه تنش‌های اعمال شده در این مطالعه دو رقم جدید آتوسا و آنوشا تحمل قابل قبولی به تنش رطوبتی از خود نشان دادند و بنابراین می‌توانند در تناوب‌های زراعی منطقه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: شاخص تحمل تنش، شاخص میانگین بهره‌وری، عملکرد قابل فروش، میانگین هندسی

مقدمه

افت غده‌دهی و کاهش حجم شدن غده‌ها است (Jalali et al., 2020). با توجه به افزایش گرمایش زمین و تغییرات آب و هوایی برخی مدل‌ها نشان می‌دهند که تا سال ۲۰۶۹ میلادی در صورتی که در ایران از ارقام سازش یافته با خشک‌سالی استفاده نشود شاهد افت ۴۸/۳ درصدی عملکردهای سیب‌زمینی خواهیم بود (Hijmans, 2003).

به طور معمول، انتخاب ارقام گیاهی مقاوم به تنش خشکی بر اساس صفات زراعی مختلف مانند تولید زیست‌توده گیاهی، ویژگی‌های عملکرد و شاخص‌های مختلف تحمل به تنش است. به عنوان مثال فرناندز (Fernandez, 1992) بر اساس محیط‌های با حضور تنش و بدون تنش چهار گروه گیاهی با عملکرد بالا در هر دو محیط، عملکرد بالا فقط در محیط بدون تنش، ارقام با عملکرد بالا در شرایط تنش و ارقام با عملکرد پایین در هر دو شرایط را تشخیص داد. در پژوهشی برای تعیین تحمل به خشکی ۲۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی از دو شاخص

بر اساس آمار سال ۲۰۲۱ میلادی سطح زیر کشت جهانی سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) ۱۸/۲ میلیون هکتار بوده و از این سطح ۳۷۶/۲ میلیون تن غده سیب‌زمینی تولید شده که تقریباً یک سوم آن مربوط به کشورهای در حال توسعه (عمدتاً در کشورهای آسیایی) است. ایران در این سال با سطح زیر کشت ۸۸ هزار هکتار و تولید ۲/۶ میلیون تن تنها ۰/۶۹ درصد از کل تولید جهان را به خود اختصاص داده است (FAO, 2023).

در میان تنش‌های غیر زیستی مختلف، خشک‌سالی یکی از عوامل بازدارنده اصلی است که بر کلیه فرآیندهای رشد و متابولیک گیاه تأثیر می‌گذارد و در نهایت باعث کاهش بهره‌وری محصول می‌شود (Ali et al., 2020). عملکرد سیب‌زمینی به عنوان یک گیاه حساس به تنش خشکی در اثر مواجهه با کم آبی دچار نقصان شده و این امر به دلیل کاهش کارایی فتوسنتز،

توجه به پتانسیل‌های ارقام جدید می‌تواند برای حل برخی از مشکلات از قبیل تنش خشکی راهگشا باشد؛ بنابراین پژوهش حاضر سعی دارد چهار رقم سیب‌زمینی (دو رقم قدیمی و دو رقم جدید) را با استفاده از برخی شاخص‌های تحمل به خشکی ارزیابی نماید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی رزوه، استان اصفهان، شهرستان چادگان (طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی) با ارتفاع ۲۲۳۰ متر از سطح دریا انجام شد. منطقه چادگان، از مناطق سردسیر استان اصفهان بوده و این موضوع سبب شده است تا حجم آب مصرفی برای سیب زمینی در این منطقه، در مقایسه با بسیاری از مناطق کشت و کار سیب زمینی در استان، کمتر باشد. برای انجام پژوهش از آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. عامل اصلی شامل دو سطح آبیاری (آبیاری کامل در رطوبت ظرفیت مزرعه به‌عنوان شاهد و آبیاری در ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه به‌عنوان تیمار تنش) و عامل فرعی شامل چهار رقم آگریا (دیررس)، مارفونا (زودرس)، آتوسا (متوسط رس) و آنوشا (متوسط رس) بودند. غده‌ها در اول خردادماه کشت شدند.

هر کرت شامل چهار خط کشت به طول چهار متر بود که به ترتیب فاصله بین و روی ردیف در آن ۷۵ و ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تیمار آبیاری برای کلیه کرت‌ها سیستم قطره‌ای توسط لوله‌هایی با قطر ۱۶ میلی‌متر دارای قطره چکان‌های پلاک‌دار در فاصله ۲۵ سانتی‌متری با دبی ۱/۵ لیتر در ساعت انجام شد. برای تعیین دقیق میزان آب مصرفی در ابتدای هر بلوک یک کنتور نصب و میزان آب مصرفی در هر دور آبیاری یادداشت برداری شد. بر اساس قرائت کنتور حجم آب مصرفی برای تیمارهای معمول و تیمارهای تنش به ترتیب برابر ۴۸۶۵ و ۳۵۸۵ متر مکعب در هکتار آب خالص بود.

جهت جلوگیری از نشت آب بین تیمارهای تنش و شاهد دو ردیف نکاشت منظور گردید. برخی از ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج آزمون خاک، نیازی به استفاده از کودهای فسفر و

حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل به تنش (STI) استفاده و دو ژنوتیپ را با عملکرد بالاتر جداسازی شد (Hossain et al., 2017). در مطالعه‌ای در ترکیه شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص ثبات عملکرد (YSI) برای مقایسه عملکرد چهار رقم سیب‌زمینی استفاده شد و نتایج نشان داد که دو رقم اطلس و مارانکا به ترتیب با مقادیر ۰/۶۱ و ۰/۶۷ کمترین شاخص حساسیت به تنش را داشتند (Rodríguez et al., 2016). در مطالعه‌ای در بنگلادش برخی شاخص‌های تحمل به خشکی در ۱۶ ژنوتیپ سیب‌زمینی بررسی شد و نتایج نشان داد که شاخص تحمل تنش دامنه تغییراتی از ۰/۴۲ تا ۰/۸۲ و شاخص میانگین هندسی دامنه‌ای از ۰/۰۱ تا ۰/۱۷ داشت (Al Mahmud et al., 2021). در کشورهای مختلف از شاخص‌های تحمل به تنش برای تشخیص ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی استفاده می‌شود. در کشور ترکیه برخی از کلون‌های تولید شده توسط مرکز بین‌المللی سیب‌زمینی در شرایط تنش رطوبتی و استفاده از شاخص‌های تحمل تنش آزمایش و نتایج حاکی از برتری کلون‌های CIP-398180.612، CIP-397069.5 و CIP-304371.67 بود (Beyene et al., 2019). در بنگلادش با استفاده از شاخص‌های حساسیت به تنش و شاخص تحمل تنش رطوبتی، مشخص شد که سه رقم محلی سیب‌زمینی توانایی تحمل تنش را نداشتند ولی ژنوتیپ CIP-396244.12 هم در شرایط رطوبت معمول و هم در شرایط تنش رطوبتی بیشترین عملکرد را تولید نمود (Al Mahmud et al., 2021).

سالانه بیش از ۱۴ هزار هکتار از اراضی زراعی استان اصفهان به کشت سیب‌زمینی اختصاص می‌یابد. این در حالی است که هم در مناطق مرکزی (به دلیل نوسان آب چاه‌های متأثر از رودخانه زاینده‌رود) و هم در مناطق غربی استان به دلیل خشک‌سالی‌های پی‌درپی، وقوع تنش آبی در زراعت سیب‌زمینی به امری اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است. از این رو استفاده از ارقام متناسب با این شرایط می‌تواند تا حد زیادی از شدت این مشکل بکاهد. خوشبختانه تنوع خوبی از نظر ارقام سیب‌زمینی در کشور وجود دارد و از سال ۱۳۱۴ تا ۱۴۰۱، ۷۷ رقم اصلاح شده در موسسه ثبت و گواهی بذر و نهال به ثبت رسیده است (SPCRI, 2024).

پتاسیم وجود نداشت. ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص (از نوع کود اوره) در سه نوبت قبل از کاشت، مرحله پنج تا شش برگی

(هنگام خاک‌دهی پای بوته) و مرحله رشد سریع غده‌ها (کامل شدن رشد رویشی) به زمین اضافه شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental field

نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (mg kg ⁻¹)	فسفر Phosphor (mg kg ⁻¹)	مواد آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
0.06	410	26	0.55	7.7	3.5	44.4	41.2	14.4

آب‌یاری تا مرحله استقرار اولیه (ظهور دو برگ کامل) برای همه کرت‌ها یکسان و بر اساس رطوبت در حد ظرفیت مزرعه در نظر گرفته شد. ارقام مارفونا و آگریا جزو ارقام متداول هستند که به طور معمول، توسط زارعین اصفهان کشت می‌شوند و ارقام آتوسا و آنوشا که قبلاً به ترتیب با نام کلون‌های KSG82 و KSG31 شناخته می‌شدند، توسط موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کشور نام‌گذاری و معرفی شده‌اند. این ارقام پر محصول، متوسط رس، دومنظوره (تازه خوری و مصرف در صنایع تبدیلی) و مقاوم به بیماری‌های ویروسی هستند. شاخص‌های تحمل به خشکی مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ ارائه شده است (Fernandez, 1992; Rodríguez, 2016; Farshadfar and Ghasemi, 2015 et al., 2016). در این فرمول‌ها \bar{Y}_p و \bar{Y}_s به ترتیب عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش برای هر رقم و میانگین عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش برای کلیه ارقام است. عملیات سرزنی اندام‌های هوایی جهت ضخیم شدن پوست غده و جلوگیری از صدمات غده هنگام برداشت انجام گردید. عملیات برداشت ارقام مارفونا،

آتوسا و آنوشا در ۱۵ مهرماه و رقم آگریا یک هفته بعد انجام شد. کشت ارقام دیررسی همچون آگریا و برداشت زودتر از موعد آن‌ها در منطقه مورد مطالعه مرسوم است و با توجه به اینکه در تحقیق حاضر، تلاش شد تا شرایط عینی زارعین، شبیه سازی شود، لذا رقم دیررس آگریا، زودتر از موعد خودش برداشت گردید. جهت برآورد عملکرد و اجزاء عملکرد، دو متر از ردیف‌های وسط هر کرت برداشت شد. غده‌های دارای شکاف، غده‌های پوسیده، بد شکل و دارای رشد ثانویه، غده‌هایی که دارای بیش از چهار جوش اسکب بر روی پوست بودند و همچنین غده‌های با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های غیر قابل فروش در نظر گرفته شدند. کارایی مصرف آب از تقسیم عملکرد قابل فروش بر آب مصرفی محاسبه شد (Tanner and Sinclair, 1983). برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و برای مقایسه میانگین‌ها به کمک روش برش‌دهی و با استفاده از آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن (در سطح احتمال پنج درصد) استفاده شد.

جدول ۲- شاخص‌های تحمل به خشکی مورد استفاده در این پژوهش

Table 2- Drought tolerance indices used in this research

نام شاخص Index name	علامت اختصاری Symbols	فرمول Formula
شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index	(SSI)	$SSI = [(1 - (Y_s/Y_p) - (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)]$
شاخص تحمل تنش Stress Tolerance Index	(STI)	$STI = (Y_p \times Y_s) / (\bar{Y}_p)^2$
شاخص ثبات عملکرد Yield Stability Index	(YSI)	$YSI = (Y_s/Y_p) \times 100$
شاخص میانگین بهره‌وری Mean Productivity Index	(MPI)	$GMP = (Y_p + Y_s) / 2$
میانگین هندسی Geometric Mean productivity	(GMP)	$GMP = \sqrt{(Y_p \times Y_s)}$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. تأثیر عامل آبیاری بر عملکرد کل، عملکرد قابل فروش و عملکرد غیر قابل فروش و کلیه شاخص‌های ارزیابی تنش رطوبتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. روند مشابهی برای تأثیر رقم تنش در سطح آماری پنج درصد مشاهده شد. برهمکنش عوامل آبیاری و رقم بر عملکرد (کل، قابل فروش و غیر قابل فروش) و شاخص‌های حساسیت به تنش، شاخص تحمل تنش و شاخص ثبات عملکرد در سطح احتمال پنج درصد و بر شاخص‌های میانگین بهره‌وری و میانگین هندسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

عملکرد در شرایط آبیاری کامل (بدون تنش)

مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در سطوح برهمکنش عوامل آبیاری و رقم در جدول ۴ ارائه شده است. ارقام آتوسا و آنوشا به ترتیب با عملکرد غده کل ۴۳/۸۹ و ۴۱/۳۴ تن در هکتار در شرایط بدون تنش نسبت به دو رقم مارفونا و آگریا

برتری معنی‌دار داشتند. روند مشابهی برای تغییرات عملکرد قابل فروش در شرایط بدون تنش مشاهده شد. در این شرایط رقم آتوسا با تولید ۳۶/۲۰ تن غده در هکتار نسبت به دو رقم مارفونا و آگریا به ترتیب ۳۷ و ۳۱ درصد عملکرد بیشتر تولید نمود. در ارقام جدید سیب‌زمینی توانایی استفاده کارآمد از نور و تبدیل آن به کربوهیدرات (قدرت مبدأ) و همچنین ظرفیت ذخیره‌سازی غده‌ها (قدرت مقصد) از دلایل عملکرد بالاتر آن‌ها در شرایط بهینه رشد است (Oliveira et al., 2016). برخی از پژوهش‌ها نیز معماری اندام‌های هوایی (Crop architecture) و سرعت بیشتر رشد اندام‌هایی مثل برگ‌ها در ارقام جدید را دلیل این برتری می‌دانند (Fantaw et al., 2019). در شرایط بدون تنش، عملکرد غیر قابل فروش رقم آگریا نسبت به ارقام مارفونا، آتوسا و آنوشا به ترتیب ۶۶، ۳۶ و ۳۷ درصد بیشتر بود که دلیل آن دیررس تر بودن رقم آگریا و تمایل آن به تولید غده‌های بیشتر در طول فصل رشد است. در حقیقت برای شبیه سازی عملیات زراعی مشابه کشاورزان، رقم دیررس آگریا قدری زودتر از موعد برداشت شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات سطوح آبیاری و رقم بر عملکرد، شاخص حساسیت به تنش، شاخص تحمل تنش، شاخص ثبات عملکرد، شاخص میانگین بهره‌وری، شاخص خشکی نسبی و میانگین هندسی سیب‌زمینی

Table 3- Analysis of variance (mean square) of irrigation levels and cultivars effects on yield, stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI), yield stability index (YSI), mean productivity index (MPI), and geometric mean productivity (GMP) of potato

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares								
		عملکرد کل Total yield	عملکرد قابل فروش Marketable yield	عملکرد غیر قابل فروش Non-marketable yield	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص تحمل تنش STI	شاخص ثبات عملکرد YSI	شاخص میانگین بهره‌وری MPI	میانگین هندسی GMP	کارایی مصرف آب Water use efficiency
بلوک Block	2	0.61 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.18 ^{ns}	1.15 ^{ns}	1.10 ^{ns}	1.34 ^{ns}	2.11 ^{ns}	1.05 ^{ns}	0.85 ^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	1	13.23 ^{**}	23.65 ^{**}	6.80 ^{**}	1.57 ^{**}	3.57 ^{**}	4.67 ^{**}	4.12 ^{**}	3.69 ^{**}	2.99 ^{**}
خطا a Error a	2	1.00	3.23	0.40	1.00	0.19	0.89	1.09	1.46	1.02
رقم Cultivar (C)	3	2.31 [*]	30.09 [*]	5.13 [*]	1.08 [*]	5.80 [*]	3.11 [*]	2.80 [*]	4.10 [*]	5.40 [*]
آبیاری × رقم (C × I)	3	3.10 [*]	44.67 [*]	7.89 [*]	0.87 [*]	2.15 [*]	3.01 [*]	4.03 ^{**}	4.78 ^{**}	2.98 ^{**}
خطا b Error b	12	3.98	20.52	4.45	0.34	1.00	1.43	0.98	1.00	0.68
ضریب تغییرات CV(%)		14.87	13.45	12.55	9.32	8.00	6.98	8.79	6.98	7.93

^{ns} و ^{*} و ^{**}: به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, ^{*} and ^{**} No significant difference and significant difference at the probability level of five and one percent, respectively

عملکرد در شرایط تنش آبیاری

مواجه می‌شوند (Fandika et al., 2016). غالباً وقوع تنش خشکی، باعث افزایش غده‌های با قطر کمتر از سه سانتی متر می‌شود و عملاً پتانسیل تولید محصول موجب سوددهی قابل قبول برای کشاورز نمی‌گردد و تنها ارقام متحمل به خشکی هستند که با وجود تولید تعداد کمتر غده در این شرایط عملکرد اقتصادی قابل قبولی تولید می‌کنند (Nasir and Toth, 2022). تنش رطوبتی بر سرعت فتوسنتز، انتقال مواد در آوندهای چوبی و آبکش، سوخت و ساز قند و تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌ها تأثیر می‌گذارد. در این شرایط غده‌دهی با تأخیر بیشتری انجام می‌شود و درصد غده‌های بد شکل افزایش می‌یابد (Lal et al., 2022).

در شرایط اعمال تنش رطوبتی در طول فصل رشد، دو رقم آتوسا و آنوشا به ترتیب با تولید ۳۳/۷۵ و ۳۲/۴۶ تن عملکرد کل و ۳۱/۵ و ۳۰ تن عملکرد قابل فروش همچنان نسبت به دو رقم آگریا و مارفونا برتر بودند (جدول ۴). درصد افت عملکرد این دو رقم نسبت به شرایط بدون تنش به ترتیب ۲۳ و ۲۱/۵ درصد و درصد افت عملکرد ارقام مارفونا و آگریا به ترتیب ۲۷ و ۲۱/۵ درصد بود. در شرایط تنش عملکرد غیر قابل فروش ارقام آزمایشی تفاوت معنی‌داری با هم نداشت. ارقام جدید معرفی شده اگرچه دارای پتانسیل عملکرد زیادتری نسبت به ارقام قدیمی هستند ولی از نظر نیازهای زراعی مثل آب آبیاری پر توقع تر محسوب شده و در مقابل تنش خشکی با افت عملکرد زیادتری

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات عملکرد کل، عملکرد قابل فروش و عملکرد غیر قابل فروش در سطوح برهمکنش آبیاری و رقم

Table 4- Mean comparison of total yield, marketable yield and non-marketable yield in irrigation and cultivar interaction

تیمارها	ارقام	عملکرد کل	عملکرد غیر قابل فروش-Non-	عملکرد قابل فروش
Treatments	Cultivars	Total yield (t ha ⁻¹)	marketable yield (t ha ⁻¹)	Marketable yield (t ha ⁻¹)
آبیاری کامل Full irrigation	آگریا Agria	35.78b	7.90 a	27.65 b
	مارفونا Marfona	30.85 c	4.75 b	26.40 b
	آتوسا Atousa	43.89 a	5.81 b	36.20 a
	آنوشا Anousha	41.34 a	5.76 b	34.98 a
	آگریا Agria	28.11 b	3.90 a	24.10 b
تنش خشکی Drought stress	مارفونا Marfona	22.48 b	3.45 a	19.00 b
	آتوسا Atousa	33.75 a	2.11 a	31.50 a
	آنوشا Anousha	32.46 a	2.36 a	30.00 a
	آگریا Agria	28.11 b	3.90 a	24.10 b

برای هر سطح آبیاری، میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

For each irrigation level, the means with the same letters in columns are not significantly different according to Duncan test (five percent probability)

است. بیشترین حساسیت به تنش در چهار رقم مورد مطالعه مربوط به رقم مارفونا بود (SSI=1.20) که به‌طور معنی‌دار حساسیت بیشتری به تنش رطوبتی داشت (جدول ۵). شاخص حساسیت به تنش (SSI) یکی از شاخص‌های تحمل خشکی توسط گیاهان است که هرچه مقدار آن کمتر باشد، مقاومت به

ارزیابی شاخص‌های تحمل تنش رطوبتی

همان‌گونه که از فرمول‌های بیان‌شده در جدول ۲ مشخص است، مبنای شاخص‌های تحمل تنش برخلاف برخی شاخص‌های فیزیولوژیک که بقاء و فرایندهای حیاتی گیاه را رصد می‌کند، عملکرد یک گیاه در شرایط تنش و شرایط معمول

ارقام متحمل و ارقام با شاخص حساسیت به تنش بیش از یک کاملاً حساس به تنش محسوب شده‌اند (Hassanpanah, 2010). با این تعریف هر چهار رقم موجود در پژوهش حاضر (به‌ویژه رقم مارفونا) ارقامی حساس به تنش خشکی هستند.

خشکی زیاده‌تر است. در پژوهشی، طی مقایسه چهار رقم سیب‌زمینی، مشخص شد که دو رقم اطلس و مارانکا نسبت به دو رقم دیگر به ترتیب با مقادیر ۰/۶۱ و ۰/۶۷ شاخص حساسیت به تنش کمتری داشتند (Rodríguez et al., 2016). در برخی از پژوهش‌ها ارقام دارای شاخص حساسیت به تنش ۰/۳۷-۰/۷۲

جدول ۵- مقایسه برخی شاخص‌های تحمل تنش در چهار رقم سیب‌زمینی

Table 5- Comparison of some indices of stress tolerance in four potato cultivars

ارقام Cultivars	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص تحمل تنش STI	شاخص ثبات عملکرد YSI	شاخص میانگین بهره‌وری MPI	میانگین هندسی GMP
آگریا Agria	0.93 b	0.70 b	78.56 a	31.95 b	31.71 c
مارفونا Marfona	1.20 a	0.48 c	72.87 b	26.67 c	26.33 b
آتوسا Atousa	1.00 b	1.03 a	76.90 ab	38.82 a	38.49 a
آنوشا Anousha	0.93 b	0.93 a	78.52 a	36.90 a	36.63 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

The means with the same letters in columns are not significantly different according to Duncan test (five percent probability)

گرفت. معمولاً ارقامی که تحمل به تنش بالاتری دارند (به دلیل ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک) ثبات عملکرد بیشتری نیز در شرایط تنش از خود نشان می‌دهند. در یک تحقیق، در مقایسه چهار رقم سیب‌زمینی در شرایط معمول و شرایط تنش دو رقم اطلس و مارانکا به ترتیب با شاخص ثبات عملکرد ۷۹/۲۹ و ۸۱/۰۷ نسبت به دو رقم دیگر برتری داشتند (Rodríguez et al., 2016). در برخی از پژوهش‌ها عنوان شده واریته‌های سیب‌زمینی با تحمل بیشتر به تنش خشکی مقادیر پایداری عملکرد ۸۵-۸۰ درصد و واریته‌های حساس شاخص پایداری عملکرد حدود ۶۰ درصد دارند (Shi et al., 2015); بنابراین ارقام استفاده شده در این پژوهش از ثبات عملکرد قابل قبولی برخوردار بودند.

شاخص میانگین بهره‌وری یکی از ساده‌ترین شاخص‌هایی است که در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در حقیقت میانگین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش است. در این پژوهش این شاخص از ۲۶/۶۷ در رقم مارفونا تا ۳۸/۸۲ در رقم آتوسا تغییر نمود (جدول ۵). شاخص میانگین بهره‌وری در رقم آنوشا تفاوت معنی‌داری با رقم آتوسا نداشت ولی این

شاخص تحمل تنش (STI) در این پژوهش دامنه‌ای از ۰/۴۸ (رقم مارفونا) تا ۱/۰۳ (رقم آتوسا) داشت. دو رقم جدید آتوسا و آنوشا نسبت به دو رقم قدیمی‌تر مارفونا و آگریا شاخص تحمل تنش بیشتری داشتند. این شاخص گاهی به نام شاخص شدت تنش آبی نیز شناخته می‌شود. در مطالعه‌ای در بنگلادش ۱۶ ژنوتیپ سیب‌زمینی بررسی و نتایج نشان داد که شاخص تحمل تنش دامنه تغییراتی از ۰/۴۲ تا ۰/۸۲ داشت. در این پژوهش شاخص تحمل تنش یکی از بهترین شاخص‌ها در غربالگری ارقام سیب‌زمینی تلقی گردید (Al Mahmud et al., 2021).

یکی از موضوعات مورد علاقه پژوهشگران در زمینه تنش خشکی، حفظ عملکرد در چنین شرایطی است. شاخص ثبات عملکرد (YSI) که برحسب درصد بیان می‌شود از جمله شاخص‌هایی است که در این رابطه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بین چهار رقم مطالعه شده در این پژوهش سه رقم آتوسا، آنوشا و آگریا با شاخص ثبات عملکرد ۷۶/۹۰، ۷۸/۵۲ و ۷۸/۵۶ درصد در یک گروه آماری قرار گرفتند و رقم مارفونا با شاخص ثبات عملکرد ۷۲/۸۷ درصد در گروه آماری دیگری قرار

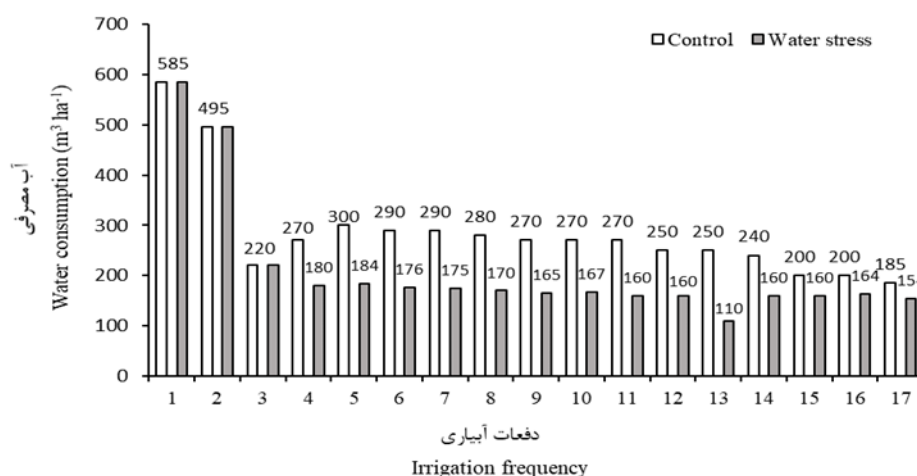
در رقم دراگا تا ۲۷/۶۵ در رقم سرنناد متفاوت بود. شاخص میانگین بهره‌وری زمانی که تفاوت عملکرد در شرایط تنش و شرایط معمول زیاد باشد کاربرد دارد، در حالی که شاخص میانگین هندسی در تمام شرایط قابلیت تفکیک ارقام را بهتر از شاخص میانگین بهره‌وری انجام می‌دهد (Darabad, 2014).

کارایی مصرف آب

همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در طی ۱۷ نوبت آبیاری انجام شده در طول دوره رشد، در تیمار شاهد ۴۸۶۵ متر مکعب در هکتار و در شرایط تنش رطوبتی ۳۵۸۵ متر مکعب در هکتار آب خالص مصرف شده است. البته مقادیر آب مصرف شده در سه نوبت اول تا استقرار اولیه یکسان در نظر گرفته شد. مقادیر آب مصرف شده در شرایط معمول آبیاری با اطلاعات قبلی موجود در رابطه با نیاز خالص آبی سیب زمینی در این ناحیه (۵۰۰۰ متر مکعب در هر هکتار) مطابقت دارد (Jalali et al., 2017).

شاخص در رقم آگریا نسبت به رقم مارفونا حدود ۲۰ درصد بیشتر بود. این شاخص به بهره‌بردار این اطمینان را می‌دهد که استفاده از یک رقم خاص در شرایط تنش برایش تا چه حد صرفه اقتصادی دارد؛ بنابراین مقدار قابل قبول این شاخص به شرایط تولید بستگی دارد. به عنوان مثال ممکن است حد آستانه قابل قبول برای میانگین بهره‌وری ۲۰ تن در هکتار است (Shi et al., 2015). باین وجود و علیرغم ساختار ساده محاسبه شاخص میانگین بهره‌وری، به دلیل کاربردی بودن آن این شاخص جزو شاخص‌های اصلی و قابل اعتماد برای غربالگری و مقایسه ارقام به شمار می‌رود (Bavandpori et al., 2022).

روند تغییرات میانگین هندسی مشابه روند تغییرات شاخص میانگین بهره‌وری بود (جدول ۵). در مورد این شاخص رقم آتوسا با میانگین ۳۸/۴۹ بیشترین و رقم مارفونا با میانگین ۲۶/۳۳ کمترین مقدار را داشتند. در پژوهش مشابهی در اردبیل شش رقم مختلف سیب‌زمینی از نظر شاخص میانگین هندسی مقایسه شدند و نتایج نشان داد که مقدار این شاخص از ۲۴/۲۲



شکل ۱- دفعات و مقدار آب آبیاری در تیمارهای آبیاری معمول و تنش رطوبتی

Figure 1- The frequency and amount of irrigation water in the usual irrigation treatments and water stress condition

در همه ارقام آزمایشی (بجز مارفونا) کارایی مصرف آب در شرایط تنش رطوبتی به طور معنی‌دار افزایش یافت (جدول ۶). کارایی مصرف آب ارقام مارفونا، آگریا، آتوسا و آنوشا در شرایط آبیاری معمول به ترتیب برابر ۵/۴۲، ۵/۴۶، ۷/۴۴ و ۷/۱۹ کیلوگرم به ازاء هر متر مکعب آب بود. در شرایط تنش رطوبتی کارایی مصرف آب در ارقام آگریا، آتوسا و آنوشا به ترتیب ۲۰، ۱۸ و ۱۶ درصد افزایش یافت. به هر صورت منطقه چادگان، از

مناطق سردسیر استان اصفهان بوده و حجم آب مصرفی برای سیب زمینی در این منطقه، در مقایسه با بسیاری از مناطق کشت و کار سیب زمینی در استان، کمتر است. در شرایط تنش رطوبتی علیرغم کاهش عملکرد غده کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد و دلیل این امر در برخی پژوهش‌ها تاثیر بیشتر تنش بر تعرق نسبت به فتوسنتز عنوان شده است (Reyes-Cabrera et al., 2016). امروزه استفاده از تنش‌های رطوبتی

می‌شود (Stikic et al., 2010)، هرچند در تنش‌های شدید، تاثیر کاهش فراوانی آب می‌تولند معکوس عمل کرده و با کاهش کارایی مصرف آب همراه باشد (Reddy et al., 2016).

(در حد تحمل گیاه) به یک ابزار مدیریتی برای افزایش کارایی مصرف آب و ذخیره آب حاصل از صرفه جویی تبدیل شده است. در این شرایط با کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش سطح برگ و افزایش زیست توده ریشه نوعی سازش به خشکی در گیاه ایجاد

جدول ۶- کارایی مصرف آب آبیاری در تیمارهای آبیاری معمول و تنش رطوبتی

Table 6- Water use efficiency in conventional and water stress conditions

	ارقام			
	Cultivars			
	آگریا	مارفونا	آتوسا	آنوشا
	Agria	Marfona	Atousa	Anousha
بدون تنش				
No water stress	5.60 b	5.42 a	7.44 b	7.19 b
تنش رطوبتی				
Water stress	6.72 a	5.60 a	8.78 a	8.36 a

بر پایه روش برش‌دهی اثرات متقابل، برای هر رقم میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

Based on interaction cross-section method, for each cultivar, the means with the same letters in columns are not significantly different according to Duncan test (five percent probability)

تنش بیانگر آن است که دو رقم آتوسا و آنوشا می‌توانند در شرایط تنش‌های خشکی متعارف (در این پژوهش آبیاری ۷۵ درصد رطوبت در حد ظرفیت مزرعه) در تناوب‌های زراعی استان اصفهان جایگاه مناسبی داشته باشند.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان برای همکاری و تأمین اعتبار لازم جهت این پژوهش سپاسگزاری نمایند.

نتیجه‌گیری کلی

با کمبود منابع آبی و طبیعتاً نوسانات ناشی از آن، تنش‌های رطوبتی در مناطق تولید سیب زمینی محتمل است. در هر چهار رقم آزمایش‌شده در این مطالعه، تنش رطوبتی باعث کاهش عملکرد غده شد، اما مقدار افت عملکرد در این ارقام متفاوت بود. دو رقم جدید سیب‌زمینی آتوسا و آنوشا به ترتیب با تولید ۳۱/۵ و ۳۰ تن عملکرد قلیل فروش نسبت به دو رقم آگریا و مارفونا برتر بودند. در شرایط تنش رطوبتی کارایی مصرف آب در ارقام آگریا، آتوسا و آنوشا به ترتیب ۲۰، ۱۸ و ۱۶ درصد افزایش یافت. ارزیابی عملکرد با استفاده از شاخص‌های ارزیابی

References

- Al Mahmud, A., Alam, M.J., Kundu, B.C., Skalicky, M., Rahman, M.M., Rahaman, E.S., Sultana, M., Molla, M.S.H., Hossain, A., El-Shehawi, A.M. and Brestic, M., 2021. Selection of suitable potato genotypes for late-sown heat stress conditions based on field performance and stress tolerance indices. *Sustainability*, 13(5), pp.2770. <https://doi.org/10.3390/su13052770>
- Ali, Q., Shahid, S., Hussain, A.I., Shehzad, F., Perveen, R., Habib, N., Ali, S., Iqbal, N., Waseem, M. and Hussain, S.M., 2020. Breeding plants for future climates. *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives I: General Consequences and Plant Responses*, pp.753-795. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2156-0_27

- Bavandpori, F., Farshadfar, E. and Farshadfar, M., 2022. Evaluation of drought tolerance among wheat landraces based on yield and integral selection indices. *Environmental Stresses in Crop Science*, 14, pp.873-886. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.3482.1865>
- Beyene, Z.K., Mekbib, F., Abebe, T. and Asfaw, A., 2019. Drought resistance indices for screening of potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(8), pp.1118-1124. doi.org/10.24925/turjaf.v7i8.1118-1124.2226
- Darabad, G.R., 2014. Evaluating the best indicators and identifying the most tolerant varieties to draught in potato varieties. *International Journal of Biosciences*, 4(8), pp.189-195. <https://doi.org/10.12692/ijb/4.8.189-195>
- Fandika, I.R., Kemp, P.D., Millner, J.P., Horne, D. and Roskrug, N., 2016. Irrigation and nitrogen effects on tuber yield and water use efficiency of heritage and modern potato cultivars. *Agricultural Water Management*, 170, pp.148-157. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.027>
- Fantaw, S., Ayalew, A., Tadesse, D. and Agegnehu, E., 2019. Evaluation of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties for yield and yield components. *Journal of Horticulture & Forestry*, 11(3), pp.48-53. <https://doi.org/10.5897/jhf2016.0475>
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2023. FAOSTAT, Retrieved January 12, 2020, Available at: <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>.
- Farshadfar, E. and Ghasemi, M., 2015. Evaluation of drought tolerance in bread wheat using water relations and integrated selection index. *Journal of Biodiversity & Environmental Sciences*, 6, pp.77-84.
- Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan, 1992 (pp.257-270). <https://doi.org/10.22001/wvc.72511>
- Hassanpanah, D., 2010. Evaluation of potato cultivars for resistance against water deficit stress under In vivo conditions. *Potato Research*, 53(1), pp.383-392. <https://doi.org/10.1007/s11540-010-9179-5>
- Hijmans, R.J., 2003. The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research*, 80, pp.271-279. <https://doi.org/10.1007/bf02855363>
- Hossain, M.M., Zakaria, M., Mian, M.K., Karim, M.A. and Hossain, M., 2017. Stress tolerance attributes and yield based selection of potato genotypes for water stress environment. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 39(2), pp.186-194. <https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2017.22>
- Jalali, A.H., Hassanpanah, D. and Mousapour Gorji, A., 2020. Environmental stresses and their management in potato production. Ministry of Jihad-e-Agriculture Agricultural Research, Education and Extension Organization Seed and Plant Improvement Institute. 214pp. [In Persian].
- Jalali, A.H., Salemi, H., Nikouei, A., Gavangy, S., Rezaei, M., Khodaghohi, M. and Toomanian, N., 2017. Determination of water requirement for potato in different climates of Isfahan province. *Applied Research in Field Crops*, 30, pp.53-73. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/aj.2018.116108.1210>

- Lal, M.K., Tiwari, R.K., Kumar, A., Dey, A., Kumar, R., Kumar, D., Jaiswal, A., Changan, S.S., Raigond, P., Dutt, S. and Luthra, S.K., 2022. Mechanistic concept of physiological, biochemical and molecular responses of the potato crop to heat and drought stress. *Plants*, 11(21), 2857. <https://doi.org/10.3390/plants11212857>
- Nasir, M.W. and Toth, Z., 2022. Effect of drought stress on potato production: A review. *Agronomy*, 12(3), pp.635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>
- Oliveira, J.S., Brown, H.E., Gash, A. and Moot, D.J., 2016. An explanation of yield differences in three potato cultivars. *Agronomy Journal*, 108(4), pp.1434-1446. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0486>
- Reddy, J.M., Jumaboev, K., Bobojonov, I., Carli, C. and Eshmuratov, D., 2016. Yield and water use efficiency of potato varieties under different soil-moisture stress conditions in the Fergana Valley of Central Asia. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40, pp.407-431. <https://doi.org/10.1080/21683565.2016.1141145>
- Reyes-Cabrera, J., Zotarelli, L., Dukes, M.D., Rowland, D.L. and Sargent, S.A., 2016. Soil moisture distribution under drip irrigation and seepage for potato production. *Agricultural Water Management*, 169, pp.183-192. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.001>
- Rodríguez, A.M., Tejón, A.M. and del Sol, D.R., 2016. Agronomical indicators for determination of potato (*Solanum tuberosum* L.) tolerance to drought. *Agrisost*, 22(1), pp.1-7. <https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.37175.0>
- SPCRI (Seed and Plant Certification and Registration Institute). 2024. National list of summer vegetable varieties. [In Persian].
- Shi, S., Fan, M., Iwama, K., Lic, 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(2), pp.305-320. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2015.2050>
- Stikic, R., Savic, S., Jovanovic, Z., Jacobsen, S.E., Liu, F. and Jensen, C.R., 2010. Deficit irrigation strategies: use of stress physiology knowledge to increase water use efficiency in tomato and potato. *Horticulture in 21st Century*, ISBN: 978-1-61668-582-9, pp.161-178.
- Tanner, C.B. and Sinclair, T.R., 1983. Efficient water use in crop production: Research or re-research? Book Series: ASA, CSSA, and SSSA Books. <https://doi.org/10.2134/1983.limitationsto efficientwateruse.c1>