Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2025, Vol 8, No 16(2), Pages 29-50

Ilam University

doi:10.22034/iuvs.2022.562871.1237 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Evaluation of tolerance of promising potato genotypes to drought stress in Ardabil region

Gholamreza Hamzehpour[1], Ahmad Tobeh[2], Davoud Hassanpanah[3], and Salim Farzaneh[4*]

1- Ph.D. student, Department of engineering Production and plant genetics group, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of MohagheghArdabili, Ardabil, Iran

2 - Professor, Department of engineering Production and plant genetics group, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of MohagheghArdabili, Ardabil, Iran

3- Associate Professor, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran

4- Associate Professor, Department of engineering Production and plant genetics group, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of MohagheghArdabili, Ardabil, Iran

***Corresponding Author**: SalimFarzaneh@yahoo.com

(**Received:**10 October 2022 **Revise:**26 October 2022 **Accepted:**13November 2022)

Extended Abstract

1. **Introduction:** Water deficit is one of the most important factors limiting plant production in arid and semi-arid regions of Iran. Potatoes are highly sensitive to drought stress at all stages of development, especially the tuber formation stage. Using genotypes that are adaptable and tolerant to water deficit is one of the main methods of preventing the reduction of agricultural production in arid regions. This study aimed to select drought-tolerant genotypes by examining water use efficiency, tuber yield, tuber weight per plant, and some potato quality traits including dry matter, starch, and protein of 20 potato genotypes in the Ardabil region.
2. **Materials and Methods:** In order to select drought tolerant genotypes, an experiment in the form of a randomized complete block design with split strip blocks in three replications during the two cropping years 2018 and 2019 in Ardabil region accomplished. Horizontal treatments included 20 potato genotypes and vertical treatments included drought stress and no stress.In order to select droughttolerant genotypes, an experiment in the form of a randomized complete block design with split strip blocks in three replications during the two cropping years 2018 and 2019 in Ardabil region accomplished. Horizontal treatments included 20 potato genotypes and vertical treatments included drought stress and no stress. Genotypes were obtained from the Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Station based on ten-year selection in terms of yield and quality. Each plot consisted of four lines of four meters in length with a distance between the lines and on the lines of 75 and 25 cm, respectively (64 plants in each plot with an area of 12 square meters). To prevent lateral penetration of moisture, a distance of one and a half meters was considered between adjacent plots, and at the time of harvesting, the effect of the margin was minimized by removing the two side lines and the first and last plants in each row. In both years, sowing was carried out on the sixth day of May.
3. **Results and Discussion:**The results showed that stress treatment caused a significant reduction in tuber weight and tuber yield in all genotypes. The highest tuber weight per plant and tuber yield with the lowest decrease compared to the control belonged to genotype 905675 and the lowest value of these traits belonged to Marfona cultivar with the highest percentage decrease compared to the control. In addition, starch content, dry matter percentage and protein content were inversely related to potato tuber yield and increased. The results showed that among the studied genotypes under stress conditions, genotype 901375 had the highest percentage of dry matter and genotype 901375 had the highest percentage of starch. The highest water use efficiency under stress conditions was related to genotype 905675 with a yield of 9.89 kg / m3. In terms of stress indices, genotypes 901375, 905676 and 901675 with the highest numerical values in all four evaluated indices had a high potential for tolerance under stress conditions, respectively. Potato yield is primarily directly related to the amount of water consumed and is strongly affected by drought stress, and the stability of yield under stress conditions depends on the tolerance of genotypes. For this purpose, a numerical ranking between one and 20 was performed to select the genotypes more favorably. Accordingly, the highest and lowest tuber yield, the lowest and highest percentage of change in stress and non-stress conditions were ranked one and 20, respectively. The lowest total rank belonged to genotypes 905675, 901575, and 901375, respectively, which were tolerant genotypes, and the highest total rank belonged to cultivars Milva, Marfona, and Jelli, respectively, which were identified as sensitive cultivar. Under stress conditions, the highest productivity (9.89 kg/m^3) was related to genotypes 905675 with a 50% increase, followed by 901375 (9.84 kg/m^3) with a 35% increase. The lowest productivity was

related to the Marfona variety with 5.66 kg/m3, and the lowest increase under stress (17%) occurred in the Mileva variety. The results showed that the 901375 genotype had high productivity in both non-stressed and stressed conditions. In this experiment, it was found that water use efficiency increased differently in the genotypes by applying stress. This confirms that the higher water use efficiency for potato genotypes under drought stress conditions is an indicator that these varieties have a higher potential for higher yield even under low moisture levels, thus making them suitable for drought conditions.

4. **Conclusion:** In general, considering the rate of changes in tuber yield, tuber weight per plant, as well as increasing starch, dry matter, protein content and water productivity and stress indices, genotypes 905675, 901575 and 901375 in both stress and non-stress conditions, respectively were selected as tolerant and high yield potential genotypes. Therefore, these genotypes can be introduced as a suitable alternative to the well-known cultivar Agria in Ardabil region as well as Milva, Jeli and Marfona cultivars were introduced as susceptible cultivars.

Keywords: Irrigation cut off, Percentage of starch, Protein content, Stress indicators, Water use efficiency,

Citation: Hamzehpour, G., Tobeh, A., Hassanpanah, D. & Farzaneh, S. (2025). Evaluation of tolerance of promising potato genotypes to drought stress in Ardabil region. *Journal of Vegetables Sciences*, 16(2), 29-50. doi: 10.22034/iuvs.2022.562871.1237

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال ۸ ، دوره ۱۶، شماره ۲، پاییز و زمستان، صفحات (۵۰-۲۹)

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi:10.22034/iuvs.2022.562871.1237

بررسی تحمل ژنوتیپ‌های امیدبخش سیب‌زمینی به تنش خشکی در منطقه اردبیل

غلامرضا حمزه‌پور[۱]، احمدتوبه[۲]، داودحسن‌پناه[۳]و سلیم فرزانه[۴*]

۱- دانشجوی دکتری، گروه آموزشی مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استاد، گروه آموزشی مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

۴- دانشیار، گروه آموزشی مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

*نویسنده مسئول: SalimFarzaneh@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲)

چکیده

کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک ایران می‌باشد. به منظور گزینش ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی متحمل به تنش خشکی، آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به روش بلوک‌های خرد شده نواری در سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در منطقه اردبیل اجرا شد. تیمارهای افقی شامل ۲۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی و تیمارهای عمودی شامل تنش و عدم تنش خشکی از طریق قطع آبیاری بودند. نتایج نشان داد تیمار تنش موجب کاهش معنی‌دار در وزن غده و عملکرد غده در همه ژنوتیپ‌ها شد. بیش‌ترین وزن غده در بوته و عملکرد غده با کم‌ترین کاهش نسبت به شاهد متعلق به ژنوتیپ ۹۰۵۶۷۵ و کم‌ترین مقدار این صفات مربوط به رقم مارفونا با بیش‌ترین درصد کاهش نسبت به شاهد بود. به‌علاوه درصد نشاسته،درصد ماده خشک و میزان پروتئین با عملکرد غده رابطه معکوس داشته و افزایش داشتند. نتایج نشان داد که در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، در شرایط تنش ژنوتیپ ۹۰۱۳۷۵ از بیش‌ترین درصد ماده خشک و ژنوتیپ ۹۰۱۳۷۵ از بیش‌ترین درصد نشاسته برخوردار بودند. بالاترین بهره‌وری مصرف آب در شرایط تنش مربوط به ژنوتیپ ۹۰۵۶۷۵ با عملکرد ۹/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. از نظر شاخص‌های تنش نیز ژنوتیپ‌های ۹۰۱۳۷۵، ۹۰۵۶۷۶ و ۹۰۱۶۷۵ با بیش‌ترین مقدار عددی در هر چهار شاخص مورد ارزیابی به‌ترتیب دارای پتانسیل بالای تحمل در شرایط تنش بودند. به‌طور کلی با در نظر گرفتن میزان تغییرات عملکرد غده، وزن غده در بوته، هم‌چنین افزایش صفات نشاسته، ماده خشک، میزان پروتئین و بهره‌وری مصرف آب و شاخص‌های تنش، ژنوتیپ‌های ۹۰۵۶۷۵، ۹۰۱۵۷۵ و ۹۰۱۳۷۵ به‌ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و پتانسیل بالای عملکرد در هر دو شرایط تنش و عدم تنش انتخاب شدند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها را می‌توان جایگزینمناسب برای رقم پر سابقه آگریا در منطقه اردبیل و هم‌چنین ارقام میلوا، جلی و مارفونا را به‌عنوان ارقام حساس معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، درصد نشاسته، شاخص‌های تنش، قطع آبیاری، میزان پروتئین.

استناد: حمزه‌پور، غ.، توبه، ا.، حسن‌پناه، د. و فرزانه، س. (۱۴۰۳). بررسی تحمل ژنوتیپ‌های امیدبخش سیب‌زمینی به تنش خشکی در منطقه اردبیل. *علوم سبزی‌ها*، ۱۶(۲)، ۵۰-۲۹.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

در بین تنش‌های غیر زنده، کمبود آب مهم‌ترین عاملی است که تولید و رشد گیاهان را محدود می‌کند (Fahad *et al.*, 2017). خشکی تغییرات مختلفی را در رفتار گیاهان ایجاد می‌کند که از جمله آن‌ها می‌توان به تغییر رابطه آب و گیاه و کاهش سرعت رشد اشاره کرد. میزان تغییرات بستگی به مدت زمان، شدت و زمان تنش دارد (Hasanuzzaman*et al.*, 2018). در این راستا استفاده از منابع گیاهی با قابلیت سازگار و متحمل به کم‌آبی از اصلی‌ترین روش‌های پیش‌گیری از کاهش تولید محصولات کشاورزی مناطق خشک می‌باشد. هم‌چنین تعیین شاخص‌های اندازه‌گیری آن از اهمیت بالایی در گیاه محسوب می‌شود (Tolk *et al.*, 2016). در کشور ایران نیز اقلیم خشک و نیمه‌خشک اغلب مناطق را تحت تأثیر قرار داده و به‌خصوص خشک‌سالی‌های اخیر بر مشکل کم‌آبی افزوده است. در شرایط محدودیت منابع آب، تغییر الگوی کشاورزی به سمت کشت گیاهان سازگار به خشکی می‌تواند راهکار بسیار مناسبی باشد (Chehelgardi*et al.*, 2014).

سیب‌زمینی گیاهی یکساله با نام علمی (*Solanum tuberosum* L.) از تیره *Solanaceae* مهم‌ترین گیاه از گروه سبزیجات است که چهارمین رتبه را پس از گندم، ذرت و برنج از نظر اهمیت غذایی برای انسان دارد (Askari *et al.*, 2023). سیب‌زمینی منبع سالمی از کربوهیدرات‌ها، فیبر غذایی، پروتئین، ویتامین ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و مواد معدنی است (Beals, 2019). بر اساس آمار جهانی فائو، سیب‌زمینی با تولید ۴۵۸ میلیون تن، در ۹۲ درصد از کشورهای جهان کشت می‌شود. چین با تولید بیش از ۹۰ میلیون تن سیب‌زمینی بزرگ‌ترین تولید کننده این محصول می‌باشد. ایران با ۵/۳۲ میلیون تن تولید در جایگاه چهاردهم قرار دارد (FAO, 2019). از نظر سطح برداشت سیب‌زمینی کشور، استان‌های همدان، اردبیل، اصفهان، آذربایجان‌شرقی و کردستان به ترتیب مقام اول تا پنجم را به خود اختصاص داده‌اند. پنج استان مزبور بیش از ۵۰ درصد از سطح برداشت سیب‌زمینی کل کشور را دارا هستند (Anonymous, 2020).

سیب‌زمینی معمولاً به عنوان گیاهی حساس به کم‌آبی شناخته می‌شود و به همین دلیل پژوهش‌های مختلف با استفاده از شاخص‌هایی مثل عملکرد غده، عملکرد بیولوژیک و شاخص‌های فیزیولوژیک، تحمل ارقام مختلف سیب‌زمینی را از این نظر مورد بررسی قرار می‌دهند (Mohammadkhani& Sharifi, 2016). تنش رطوبتی در مراحل مختلف فنولوژیک سیب‌زمینی می‌تواند موجب تاخیر در استقرار اولیه گیاه، کاهش تولید استولون، کاهش غده‌دهی و ممانعت از حجیم شدن غده‌ها باشد (Obidiegwn*et al.*, 2015). برای غده‌دهی مناسب، قبل و حین غده‌دهی پتانسیل آب در خاک نباید کم‌تر از ۲۵ کیلوپاسکال باشد (Drapal*et al.*, 2017). تنش‌های شدید و دراز مدت در اوایل فصل رشد، ممکن است تسهیم مواد را به نفع ارگان‌هایی به جز غده‌ها تغییر دهد (Alich*et al.*, 2020). تحقیقات بسیاری نشان داده است که سیب‌زمینی حساسیت بالایی نسبت به تنش خشکی در همه مراحل نموی به ویژه مرحله تشکیل غده دارد (Shock *et al.*, 2013؛ Ziachehreh*et al.*,2024 a,b). در گزارشی میزان عملکرد غده رابطه مستقیم با میزان آب مصرفی و رابطه معکوس با برخی صفات کیفی سیب‌زمینی نشان داد، به عبارتی با کاهش عملکرد غده تحت تنش خشکی، درصد ماده خشک، درصد نشاسته و محتوای پروتئین افزایش یافت (Mastalizadeh*etal.*, 2020). در تحقیقی که بر روی ۱۰ کلون پیشرفته سیب‌زمینی در چین انجام گرفت، صفات تعداد، وزن و عملکرد غده، با کاهش تحت تنش خشکی اختلاف معنی‌دار نشان دادند (Qin *et al.*, 2019). در آزمایش اثر میزان آب آبیاری بر عملکرد، برخی ویژگی‌های کیفی و بهره‌وری آب دو رقم سیب‌زمینی، مشخص شد اختلاف عملکرد غده، بهره‌وری آب، درصد نشاسته و میزان تحمل تحت تنش خشکی معنی‌دار بود (Haghighati*et al.*, 2016).

تحمل به خشکی صفت کمّی نیست و روش اندازه-گیری مستقیمی برای آن وجود ندارد و این امر باعث مشکل شدن شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل می‌شود (Takeda & Matsuka, 2008). بر این اساس شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی تحمل ارقام و ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی ارائه شده است و برای دقت بیش‌تر در گزینش‌ها بهتر است از چندین شاخص استفاده شود (Zebarjadi*et al*., 2013). Yarahmadi و همکاران (۲۰۲۰) طی تحقیقی گزارش کردند، شاخص‌های تحمل MP، HM، GMP و STI همبستگی مثبت و بسیار بزرگی با عملکرد در شرایط نرمال و هم‌چنین با عملکرد در شرایط تنش داشتند. بنابراین ژنوتیپ‌های با مقادیر عددی بزرگ برای این شاخص‌ها، عملکرد بالایی در شرایط تنش و عدم تنش داشتند. به گزارش Khazaei (۲۰۱۷)، شاخص‌های تحمل MP، GMP و STI نسبت به سایر شاخص‌ها در پیش‌بینی عملکرد سیب‌زمینی از اهمیت بالایی برخوردار هستند و با استفاده از این شاخص‌ها می‌توان ژنوتیپ‌های متحمل را بهتر گزینش کرد.

اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت آب و هوایی استان اردبیل موجب خشک‌سالی‌های متوالی در چندین ساله اخیر و کاهش چشم‌گیر میزان نزولات آسمانی و به تبع آن پایین رفتن سطح ایستابی سفره‌های آب زیرزمینی و محدود شدن منابع تأمین‌کننده آب مورد نیاز محصولات استراتژیک استان، از جمله سیب‌زمینی شده است (Hosseinzadeh, 2014). از طرفی آب موجود باید برای بهبود هر چه بیش‌تر کمیت و کیفیت عملکرد غده سیب‌زمینی مورد استفاده قرارگیرد. در حالی که کشت این محصول در استان اردبیل، مقارن با مرحله داشت و آبیاری محصول زراعی غالب استان یعنی گندم بوده و لذا بایستی به دنبال راه حلی برای کاهش مصرف آب در محصول سیب‌زمینی بود. از این رو این تحقیق با هدف گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی با بررسی صفات بهره‌وری مصرف آب، عملکرد غده، وزن غده در بوته و برخی صفات کیفی سیب‌زمینی شامل ماده خشک، نشاسته و پروتئین ۲۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی در منطقه اردبیل به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل واقع در کیلومتر ۱۲ جاده اردبیل به خلخال با مختصات ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول جغرافیایی شرقی اجرا شد. این منطقه در استان اردبیل از اقلیم معتدل و نیمه سردسیر با متوسط بارندگی ۳۱۰ میلی‌متر و آب و هوای تا حد کمی مرطوب برخوردار بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۷۲ متر است. متوسط حداکثر و حداقل دمای سالانه و حداکثر دمای مطلق به ترتیب ۱۹/۸، ۱۵/۱۸ و ۲۱/۵۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. آمار هواشناسی منطقه اردبیل در دو سال آزمایش در جدول یک نشان داده شده است.

آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به روش بلوک‌های خرد شده نواری در سه تکرار طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارها دو سطح آبیاری عدم تنش و تنش به عنوان فاکتور عمودی و۲۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی (جدول ۲) به عنوان فاکتور افقی مقایسه گردید. ژنوتیپ‌ها از ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل و بر مبنای گزینش ده ساله از لحاظ عملکرد و کیفیت تهیه گردید. هر کرت شامل چهار خط کشت به طول چهار متر با فاصله بین خطوط و روی خطوط به ترتیب ۷۵ و ۲۵ سانتی متر (۶۴ بوته در هر کرت به مساحت ۱۲ متر مربع) بود. جهت جلوگیری از نفوذ جانبی رطوبت بین کرت‌های هم‌جوار یک و نیم متر فاصله در نظر گرفته شد و در زمان برداشت نیز با حذف دو خط طرفین و بوته‌های اول و آخر در هر ردیف اثر حاشیه به حداقل رسید. در هر دو سال، کشت در روز ششم اردیبهشت ماه انجام گرفت.

کوددهی مزرعه، براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۳) و به روش دستی به صورت کودهای فسفاته از نوع سوپرفسفات بر مبنای ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، کود

نیتروژنه از نوع اوره بر مبنای ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در سه نوبت (۲۵ درصد موقع کاشت، ۵۰ درصد در زمان سبز شدن و ۲۵ درصد بلافاصله پس از تشکیل غده)، کود پتاسه از نوع سولفات پتاسیم بر مبنای ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کود حیوانی کاملاً پوسیده بر مبنای ۱۵ تن در هکتار (قبل از کاشت)، سولفات روی بر مبنای ۳۰ کیلوگرم در هکتار (قبل از کاشت)، سولفات منگنز بر مبنای ۳۰ کیلوگرم در هکتار (در زمان کاشت) و کود گوگردی بر مبنای ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (قبل از کاشت) مصرف شد.

جدول ۱- آمار هواشناسی منطقه اردبیل در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

Table 1- Meteorological statistics of Ardabil region the years 2017-18 and 2018-19

ماه‌های سال Months of the year	2018 -19 سال ۱۳۹۷					2017-18 سال ۱۳۹۶				
	متوسط رطوبت Humidity means(%)	میانگین دما Temp means (°C)			میزان بارندگی Rainfall (mm)	متوسط رطوبت (درصد) Humidity means(%)	میانگین دما Temp means (°C)			میزان بارندگی Rainfall (mm)
		میانگین Means	حداکثر Max	حداقل Min			میانگین Means	حداکثر Max	حداقل Min	
فروردین Mar-Apr	66	9.0	15.7	2.3	9.3	69	8.2	14.3	2.1	30.3
اردیبهشت Apr-May	71	12.3	18.9	5.9	60.3	64	14.4	21.4	7.4	32.9
خرداد May-Jun	71	11.8	13.5	10.0	28.2	68	17.3	24.5	10.0	2.4
تیر Jun-Jul	60	21.5	29.2	13.7	3.9	61	19.5	26.1	12.8	9.3
مرداد Jul-Aug	69	20.3	25.7	14.9	0.9	58	20.6	29.5	11.7	1.3
شهریور Aug-Sep	68	17.5	19.8	15.2	7.3	57	20.0	29.3	10.2	0.1

منبع: پایگاه اطلاع‌رسانی اداره کل هواشناسی استان اردبیل.

Source: Information base of Ardabil Meteorological Department.

جدول ۲- ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مورد آزمایش

Table 2- genotypes used in this experiment

ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	ردیف Row	ژنوتیپ Genotype
1	901675	6	901575	11	901475	16	Atuosa
2	902375	7	901027	12	902127	17	Anosha
3	901375	8	90575	13	901427	18	milva
4	901029	9	901124	14	Satina	19	Jelly
5	905675	10	901627	15	Agria	20	Marfona

از سم پاراکوات به مقدار سه لیتر در هکتار بعد از کاشت و قبل از سبزشدن بوته‌های سیب‌زمینی برای مبارزه با علف‌های هرز در یک نوبت و از سم کنفیدور به مقدار ۲۵۰ میلی‌لیتر در دو نوبت برای مبارزه با آفت سوسک کلرادو و ناقلین بیمارهای ویروسی استفاده شد. ابتدا کلیه کرت‌ها به صورت نرمال و با سامانه قطره‌ای توسط لوله های ۱۶ میلی‌متری، دارای قطره چکان‌های پلاک‌دار در فاصله ۲۰ یا ۲۵ سانتی‌متر با دبی ۱/۲ یا ۱/۵ لیتر در ساعت آبیاری شد. چهل روز پس از کشت (مرحله تشکیل غده که یکی از دوره‌های بحرانی این گیاه نسبت به کمبود آب می‌باشد) در ۱۵ خرداد ماه

آبیاری تیمار تنش قطع و آبیاری تیمار عدم تنش به صورت متداول ادامه یافت. سی روز (فاصله زمانی بین شروع غده‌زایی تا مرحله حجیم شدن) پس از قطع آبیاری، مجددا آبیاری تیمار تنش به صورت متداول انجام گرفت (Hassanpanah*etal*., 2018). برای تعیین دقیق‌تر میزان آب مصرفی در هر دور آبیاری، در ابتدای هر بلوک یک کنتور نصب شد (جدول ۴). در نهایت تیمارهای تنش در بیست و پنجم مرداد ماه و تیمارهای عدم تنش در بیست و پنجم شهریورماه برداشت شد.

جدول ۳- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و آب محل آزمایش

Table 3- Physical and chemical characteristics of soil and water at the Experiment site

متغیرها Parameters	خاک Soil	متغیرها Parameters	آب Water
EC (ds/m)	1.25	EC (µs/m)	1500
pH	7.64	pH	7.66
Saturation (%)	29	CO_3^{2-} (ppm)	0
Lime (%)	7.5	HCO_3^{-} (ppm)	382
Texture	Loamy-clay	SO_4^{2-} (ppm)	155
Organic carbon (%)	0.97	Cl^{-} (ppm)	195
Total nitrogen	0.1	Na^{+} (ppm)	123.98
Absorbable phophorus(ppm)	3.4	Ca^{2+} (ppm)	118
Absorbable potassium (ppm)	230	Mg^{2+} (ppm)	44.2
Zn (ppm)	1.22	SAR	2.46
Fe (ppm)	3.22	TDS(mg/l)	750
Cu(ppm)	3.2	Total hardness	480
Clay (%)	34		
Sand (%)	24	–	–
Silt (%)	42		

جدول ۴- مقدار آب مصرفی سیب‌زمینی در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

Table 4- The amount of water consumed by potatoes the years 2017-18 and 2018-19

سال Year	سطوح آبیاری Irrigation levels	تعداد آبیاری Number of irrigations	مقدار آب مصرفی The amount of water consumed (m^3/ha)	مقدارباران موثر Effective rainfall (m^3/ha)	*حجم آب کاربردی Applicable water volume (m^3/ha)
1396	عدم تنش Non stress	14	7071.24	562	7632.24
	تنشStress	10	3535.62	562	4097.62
1397	عدم تنش Non stress	12	6356.24	1017	7373.24
	تنشStress	9	3178.12	1017	4195/12

* حجم آب کاربردی= مقدار آب مصرفی + مقدار باران موثر

*Applicable water volume = Amount of water consumed + Effective rainfall.

طی دوران رشد مقدار آب مصرفی و باران موثر و پس از برداشت، عملکرد غده، وزن غده در بوته و صفات کیفی از جمله متغیرهایی بودند که اندازه‌گیری شد. پس از برداشت کرت‌های آزمایشی، غده‌های کوچک‌تر از ۳۵ میلی‌متر برداشت شده حذف، مابقی غده‌ها توزین و عدد حاصله به عنوان عملکرد غده در واحد سطح (هکتار) در نظر گرفته شد.

برای تعیین درصد ماده خشک غده‌ها، برش نازک چهار غده متوسط (۸۰-۴۰ میلی‌متر) از هر رقم را به‌صورت جداگانه به مدت ۴۸ ساعت، در دمای ۷۲ درجه

سلسیوس در داخل آون قرار داده تا به وزن ثابت برسند. سپس درصد ماده‌ی خشک غده‌ها از رابطه یک محاسبه گردید (Kiptoo *et al*., 2018).

رابطه (۱)

$$D.M. = \frac{\text{وزن غده‌ها پس از خشک شدن}}{\text{وزن غده‌ها اولیه}} \times 100$$

از حاصل‌ضرب مقادیر ماده خشک در عملکرد غده، عملکرد ماده خشک بدست آمد.

برای اندازه‌گیری نشاسته از روش معرف آنترون استفاده شد (Mostofi & Najafi, 2005).

عملکرد نشاسته از رابطه دو بدست آمد.

رابطه (۲)

$$\text{عملکرد نشاسته} = \frac{\text{درصد نشاسته}}{100} \times \frac{\text{درصد ماده خشک}}{100} \times \text{کل عملکرد}$$

عملکرد نشاسته (کیلوگرم در هکتار)

میزان پروتئین غده نیز بر اساس روش میکروکلدال و پس از مرحله تیتراسیون، با استفاده از ضریب ۶/۲۵ محاسبه گردید (Mahgoub *et al*., 2015).

بهره‌وری آب به شرح رابطه سه محاسبه شد.

رابطه (۳)

$$WUE = \frac{TY}{TWU} \times 100$$

در این رابطه WUE بهره‌وری مصرف آب، TY عملکرد غده (تن در هکتار) و TWU کل آب مصرف شده (آبیاری + باران) توسط سیب‌زمینی (مترمکعب در هکتار) می‌باشد. به منظور تعیین ارقام متحمل به شرایط کم‌آبیاری با استفاده از داده‌های به‌دست آمده، شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی نیز برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی محاسبه شد. بدین منظور از شاخص‌های MP، HM، GMP و STI به شرح جدول پنج استفاده شد.

جدول ۵- شاخص‌های ارزیابی تنش مورد مطالعه در این تحقیق

Table 5- Stress tolerance indices used in this research

شاخص‌های تحمل به خشکی Drought tolerance index	رابطه Relationships	منبع Source
Mean productivityمیانگین بهره‌وری	$MP=(Y_p+ Y_s) / 2$	(Rosielle and Hamblin, 1981)
Stress Tolerance Indexشاخص تحمل تنش	$STI = (Y_p \times Y_s) / \bar{Y}_p^2$	(Fernandez, 1992)
میانگین هندسی بهره وری Geometric Mean Productivity	$GMP = \sqrt{Y_s \times Y_p}$	(Fernandez, 1992)
Harmonic Meanمیانگین همساز	$HM=2 [Y_p \times Y_s] / [\bar{Y}_s + \bar{Y}_p]$	(Kristin *et al*., 1997)

در روابط بالا Y_s، Y_p، $\bar{Y}_s$ و $\bar{Y}_p$ به ترتیب عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش برای هر ژنوتیپ و میانگین عملکرد در تنش و عدم تنش برای کلیه ژنوتیپ‌ها.

In the above relationships Ys, Yp, $\bar{Y}_S$and$\bar{Y}p$ yield under stress and non-stress conditions for each genotype and mean yield under stress and non-stress conditions for all genotypes, respectively.

در نهایت پس از آزمون بارتلت و اطمینان از همگن بودن واریانس خطای آزمایشی، آنالیز واریانس مرکب با استفاده از نرم افزار SAS 9.2 صورت گرفت. آزمون F براساس امید ریاضی میانگین مربعات انجام شد. مقایسه میانگین صفات به روش LSD در سطح ۵ درصد محاسبه گردید. ژنوتیپ‌هایی که نسبت به میانگین کل معنی‌دار بودند با علامت a و ژنوتیپ‌هایی که نسبت به رقم آگریا (غالب منطقه) و ژنوتیپ 905675 (ژنوتیپ در حال معرفی) معنی‌دار بودند به ترتیب با علامت‌های b و c مشخص شدند.

نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین نشان داد ژنوتیپ‌ها عکس‌العمل متفاوتی نسبت به تیمار تنش از نظر صفات عملکرد غده و وزن غده در بوته داشتند. بیش‌ترین عملکرد غده (۴۹/۷۳ تن در هکتار) در سال دوم آزمایش با ۱۱ درصد کاهش نسبت به شرایط عدم تنش (۵۶ تن در هکتار) و ۳۳ درصد افزایش نسبت به شرایط تنش سال اول (۳۳/۲۴ تن در هکتار)، هم‌چنین بیش‌ترین وزن غده در بوته (۹۳۸/۳۶ گرم در بوته) در سال دوم با ۱۱ درصد کاهش نسبت به شرایط عدم تنش (۱۰۵۶/۶۰ گرم در

بوته) و ۳۳ درصد افزایش نسبت به شرایط تنش سال اول (۶۲۷/۱۳ گرم در بوته) متعلق به ژنوتیپ 905675 بود و نسبت به آگریا (رقم غالب منطقه) افزایش ۸۴ درصد در هر دو صفت داشت. بیش‌ترین مقدار عملکرد غده و وزن غده در بوته در شرایط عدم تنش سال دوم بصورت مشترک متعلق به ژنوتیپ‌های 901675 و 901375 بود. که در هر دو صفت نسبت به سال اول آزمایش افزایش ۲۸ درصد داشتند. کم‌ترین مقدار عملکرد غده در شرایط عدم تنش (۲۷/۶۲ تن در هکتار) در سال اول و در شرایط تنش(۱۹/۸۷ تن در هکتار) با ۵۴ درصد کاهش نسبت به شرایط عدم تنش در سال دوم آزمایش در رقم مارفونا مشاهده شد (جدول۶).

در طول این تحقیق میانگین درجه حرارت در خرداد ماه (زمان آغاز غده‌بندی و اعمال تنش خشکی) در سال اول و دوم به‌ترتیب ۱۷/۳ و ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد و مقدار بارش در همین بازه زمانی در سال اول و دوم به‌ترتیب ۲/۴ و ۲۸/۲ میلی‌متر بود (جدول ۱). به عبارت دیگر شرایط محیط رشد (دما و بارندگی) در سال دوم نسبت به سال اول مناسب‌تر بوده و این علل اصلی تفاوت وزن غده در بوته و به تبع آن عملکرد غده دردو سالآزمایش می‌تواند باشد. تنش خشکی در سیب‌زمینی به خصوص که مدت ۳۰ روز در زمان آغاز غده‌بندی اعمال شد سبب کاهش وزن غده در بوته گردید که به‌عنوان یکی ازاجزای عملکرد هم‌بستگی مثبت و بسیار بالا ($r = 1.00$) در هر دو شرایط عدم تنش و تنش با عملکرد غده سیب‌زمینی داشت (جدول ۷). بیش‌ترین درصد تغییر وزن غده در بوته و عملکرد غده تحت تنش خشکی متعلق به رقم میلوا در سال دوم آزمایش با ۴۷/۵ درصد بود. در آزمایش Samaeei و همکاران (۲۰۱۷) بر روی ۱۱ ژنوتیپ سیب‌زمینی نیز بیش‌ترین درصد تغییر وزن غده در بوته تحت تنش خشکی با ۹۶/۸۷ درصد مربوط به رقم میلوا بود. به گزارش Haghighati و همکاران (۲۰۱۶) به دلیل سیستم ریشه‌ای سطحی این گیاه و حساس بودن به کمبود رطوبت خاک، تنش خشکی باعث کاهش فتوسنتز، کاهش توسعه رویشی و انتقال کم‌تر مواد فتوسنتزی به غده‌ها می‌شود و از علایم کاهش فتوسنتز و توسعه رویشی می‌توان به کاهش وزن و تعداد غده در بوته اشاره کرد. Eskandari و همکاران (۲۰۱۱) نیز علت کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی را دلایل بالا ذکر کرده‌اند. در آزمایش انجام شده در کشور کره که سه رقم سیب‌زمینی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی با هم مقایسه شدند، نتایج نشان داد هر سه رقم در شرایط تنش دچار افت عملکرد شدند اما میزان افت عملکرد متفاوت بود (Chang *et al*.,2018). تحقیقات انجام گرفته توسط Hassanpanah و Hassanabadi (۲۰۱۱) و Qin و همکاران (۲۰۱۹) هم نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش متفاوت و معنی‌دار وزن غده در بوته ارقام سیب-زمینی و عملکرد غده می‌شود. اختلاف ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد غده با توجه به پتانسیل تولید آن‌ها در هر دو شرایط عدم تنش و تنش متفاوت بود و بین ژنوتیپ 901375 و آنوشا مقدار ۲۵/۹۳ تن در هکتار برآورد شد که این اختلاف می‌تواند ناشی از تفاوت ارقام در صفات فیزیولوژیک Altamas Arefin (۲۰۱۸) و بیش‌تر بودن تعداد و وزن غده در بوته ژنوتیپ‌های با عملکرد غده بالا نسبت داد (Hassanpanah & Hassanabadi, 2011). Gervais و همکاران (۲۰۲۱) با آزمایش روی ۵۶ ژنوتیپ سیب‌زمینی در کانادا گزارش کردند، تنش خشکی به طور قابل توجهی عملکرد غده در همه ژنوتیپ‌ها را کاهش داد. با این حال، کاهش عملکرد غده در ژنوتیپ‌ها بسیار متفاوت بود و علت آن راتفاوت در پدیده های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مرتبط دانستند.

جدول ۶- اثرات متقابل ژنوتیپ × تیمار آبیاری × سال بر وزن غده در بوته، عملکرد غده و درصد نشاسته سیب‌زمینی

Table 6- Interaction effects of genotype × irrigation treatment × year on tuber weight per plant, tuber yield and potato starch percentage

ژنوتیپ‌ها Genotypes	درصد نشاسته Starch %				عملکرد غده tuber yield (t/h)				وزن غده در بوته Tuber weight per plant (g/p)			
	سال ۱۳۹۷ ۱۹-۲۰۱۸		سال ۱۳۹۶ ۱۸-۲۰۱۷		سال ۱۳۹۷ ۱۹-۲۰۱۸		سال ۱۳۹۶ ۱۸-۲۰۱۷		سال ۱۳۹۷ ۱۹-۲۰۱۸		سال ۱۳۹۶ ۱۸-۲۰۱۷	
	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress
901675	18.33	17.95	18.26	17.28b	36.80	61.27ab	36.57	38.81	694.3b	1174.8ab	690.0	751.1b
902375	16.86	16.08	16.83	15.89	25.96	36.00	40.95	45.71b	489.8	679.2	772.7ac	862.5ab
901375	17.88	16.05	17.92	15.97	42.27ab	62.27ab	40.29	45.05b	797.5ab	1174.8ab	760.1a	850.0ab
901029	16.00	15.86	16.03	15.69	24.40	40.53	29.71	36.19	460.4	764.8b	560.6	494.2
905675	18.55	16.98	18.50	16.33	49.73ab	56.00ab	33.24	39.05	938.4ab	1056.6ab	627.1	736.7b
901575	17.14	14.15	16.61	13.68	40.40b	45.87b	33.14	36.67	762.3ab	865.4b	625.3	691.8
901027	17.92	17.00	17.34	16.37	27.47	41.00	27.62	30.48	518.2	773.6b	521.1	575.0
90575	18.09	17.90	17.93	17.31b	30.53	45.07b	40.00	53.14abc	571.1	850.3b	745.7a	1002.7abc
901124	16.78	15.70	16.23	15.78	24.80	40.40	38.38	49.52ab	467.9	762.3b	724.2	934.4abc
901627	16.90	16.74	16.73	16.26	36.13	56.15ab	31.14	36.67	681.8b	1054.9ab	587.6	503.1
901475	16.94	15.40	17.01	15.34	37.20	41.16	32.48	40.48b	701.9b	776.6b	612.8	736.7b
902127	16.99	15.50	16.74	15.73	25.33	41.20	32.48	34.76	478.0	777.4b	612.8	655.9
901427	16.24	15.99	16.01	15.61	32.93	44.00b	29.90	43.43b	624.4	830.2b	564.2	819.4b
Satina	16.03	15.35	15.96	14.92	30.00	40.40	32.38	45.81b	566.0	762.3b	611.0	864.3ab
Agria	16.66	16.83	16.84	15.36	27.07	32.67	24.00	29.52	510.7	616.4	641.5	557.1
Atuosa	17.35	16.35	17.26	16.52	31.07	35.47	34.76	43.62b	586.2	669.2	655.9	823.0b
Anosha	17.77	16.55	17.75	16.10	20.13	35.47	22.95	35.33	379.9b	669.2	433.1	666.7
milva	15.89	15.03	15.66	14.74	21.07	40.13	29.71	35.81	397.5	757.2b	560.6	675.7
Jelly	16.38	15.42	16.29	14.80	26.40	36.40	25.81	27.90	489.1	686.8	487.0	526.5
Marfona	15.78	15.42	15.40	14.08	19.87	35.67	27.62	27.62	374.8	673.0	521.1	521.1
میانگین Means	16.90	16.83	16.86	15.69	31.24	42.64	32.66	37.83	589.5	804.5	616.2	713.7
LSD (0.05%)	1.61				0.28				1.19			

a، b و c به ترتیب معنی‌دار نسبت به میانگین کل، رقم آگریا (غالب منطقه) و ژنوتیپ ۹۰۵۶۷۵ (ژنوتیپ در حال معرفی)

a, b and c are significant relative to the total mean, Agria variety (dominant **in** the region) and 905675 genotype (genotype being introduced)

ادامه جدول ۶- اثرات متقابل ژنوتیپ × تیمار آبیاری × سال بر عملکرد نشاسته، درصد ماده خشک و عملکرد ماده خشک سیب‌زمینی

Table 6- Interaction effects of genotype × irrigation treatment × year on starch yield, dry matter percentage and dry matter yield of potato

ژنوتیپ‌ها Genotypes	عملکرد ماده خشک dry matter yield (t/h)				درصد ماده خشک ٪ dry matter				عملکرد نشاسته Starch yield (t/h)			
	سال ۱۳۹۷ ۱۹-۲۰۱۸		سال ۱۳۹۶ ۱۸-۲۰۱۷		سال ۱۳۹۷ ۱۹-۲۰۱۸		سال ۱۳۹۶ ۱۸-۲۰۱۷		سال ۱۳۹۷ ۱۹-۲۰۱۸		سال ۱۳۹۶ ۱۸-۲۰۱۷	
	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress
901675	8.89ab	15.04ab	8.80	9.20bc	24.11ab	22.16ab	24.08ab	23.10abc	6.75a	10.99a	6.67	6.88
902375	5.89	8.17	8.28a	9.92abc	22.68	21.68	22.65	21.71b	4.38	6.07	6.89a	7.26a
901375	10.02ab	14.76ab	9.55ab	9.82abc	24.95ab	22.05ab	23.74ab	21.79ab	7.56a	9.99a	7.21a	7.20a
901029	5.32	8.85	6.50	5.62	22.16	21.82	21.85	21.51b	3.90	6.49	4.77	4.10
905675	12.13ab	13.65ab	8.09	8.65bc	24.76ab	22.38ab	24.33ab	22.15abc	9.23a	9.50a	6.15	6.37
901575	9.07ab	10.30b	7.43	7.13	24.46	20.46	22.43	19.49	6.72a	7.63	5.51	4.99
901027	6.39	9.53b	6.40	7.76	23.25ab	22.25ab	23.16ab	22.19abc	4.79	7.15	4.79	4.99
90575	7.25	10.69b	9.50ab	12.29abc	23.90ab	23.72ab	23.75ab	23.13abc	5.47	8.07	7.17a	9.20ac
901124	5.49	8.98	8.46	10.69abc	22.45	21.15	22.05	21.59b	4.05	6.60	6.23	7.81ac
901627	8.15b	12.67ab	7.02	5.89	23.15	22.56	22.55	22.08ab	6.05	9.40a	5.21	4.33
901475	8.47b	9.37b	7.41	8.56	22.76	21.76	22.83	21.16	6.30	6.97	5.52	6.21
902127	5.78	8.78	7.32	7.49	22.82	21.32	22.56	21.54b	4.31	6.39	5.43	5.47
901427	7.19	9.59b	6.53	9.30bc	22.24	21.81	21.83	21.43	5.27	7.03	4.79	6.77
Satina	6.55	8.83	7.06	9.52bc	21.85	20.85	21.78	20.73	4.81	6.48	5.17	6.85
Agria	6.13	7.40	7.70	6.24	22.89	21.65	22.66	21.18c	4.56	5.50	5.72	4.52
Atuosa	7.20	8.22	8.02	9.75bc	23.68ab	22.18ab	23.08ab	22.34ab	5.39	6.15	6.00	7.21a
Anosha	8.37b	4.75	5.41	7.75	23.59ab	22.05ab	22.85ab	21.92ab	6.30	3.58	4.07	5.69
milva	4.52	8.62	6.38	7.36	21.78	21.00	21.47	20.55	3.30	6.29	4.66	5.27
Jelly	5.86	8.08	5.71	5.76	22.90	21.07	22.11	20.61	4.32	5.96	4.20	4.14
Marfona	4.22	7.58	5.86	5.49	21.24	21.24	21.23	19.89	3.06	5.50	4.25	3.88
میانگینMeans	7.15	7.69	7.42	8.16	22.72	22.65	22.69	21.51	5.33	7.21	5.52	5.96
LSD (0.05%)	1.61				0.28				1.19			

جدول ۷- ضرایب هم‌بستگی بین عملکرد غده، وزن غده در بوته، بهره‌وری مصرف آب و شاخص‌های تنش

Table 7- Correlation coefficients between tuber yield, tuber weight per plant, water use efficiency and stress indices

صفات Traits		عملکرد غده Tuber yield (A)		وزن غده در بوته Tuber weight per plant (B)		بهره وری مصرف آب Water use efficiency(C)		MP	STI	GMP	HARM
		عدم تنش Non stress (1)	تنش Stress (2)	عدم تنش Non stress	تنش Stress	عدم تنش Non stress	تنش Stress				
A	1	1.00									
	2	0.795**	1.00								
B	1	1.00**	0.795**	1.00							
	2	0.795**	1.00**	0.795**	1.00						
C	1	0.995**	0.816**	0.995**	0.816**	1.00					
	2	0.795**	1.00**	0.795**	1.00**	0.816**	1.00				
MP		0.945**	0.937**	0.954**	0.937**	0.966**	0.937**	1.00			
STI		0.938**	0.946**	0.938**	0.946**	0.952**	0.947**	0.995**	1.00		
GMP		0.943**	0.949**	0.943**	0.949**	0.956	0.949**	0.999**	0.996**	1.00	
HARM		0.932**	0.959**	0.932**	0.959**	0.946**	0.959**	0.997**	0.996**	0.999**	1.00

** معنی‌دار در سطح یک درصد ** significant at the level 1% respectively

با این نتایج مشخص شد عملکرد سیب‌زمینی در درجه اول رابطه مستقیمی با میزان آب مصرفی دارد و به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد و پایداری عملکرد در شرایط تنش بستگی به میزان تحمل ژنوتیپ‌ها دارد. به این منظور برای گزینش مطلوب‌تر ژنوتیپ‌ها، رتبه‌بندی عددی بین یک و ۲۰ انجام گرفت. بر این اساس بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد غده، کم‌ترین و بیش‌ترین درصد تغییر در شرایط تنش و عدم تنش به ترتیب دارای رتبه یک و ۲۰ بود. بر مبنای این جدول پایین‌ترین مجموع رتبه (۹، ۱۵ و ۱۵) به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های 905675، 901575 و 901375 بود که به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و بالاترین مجموع رتبه (۵۳، ۵۲ و ۴۴) به ترتیب متعلق به ارقام میلوا، مارفونا و جلی بود که به عنوان ارقام حساس مشخص شدند (جدول ۸).

داده‌های حاصل از جدول مقایسه میانگین (جدول ۶) نشان داد تحت تیمار تنش، درصد نشاسته غده افزایش یافت. از نظر این صفت در هر دو شرایط عدم تنش و تنش بین ژنوتیپ‌ها نیز اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. با توجه به اختلاف عملکرد غده بین دو سال آزمایش به دلیل تغییر شرایط محیطی، اختلاف بین دو سال آزمایش در این صفات نیز مشاهده شد. بر مبنای این جدول بالاترین درصد نشاسته از ژنوتیپ 905675 (۱۸/۵۵ درصد) در تیمار تنش سال دوم بدست آمد که نسبت به سال قبل سه درصد، نسبت به شرایط عدم تنش نه درصد و نسبت به رقم آگریا ۱۱ درصد افزایش داشت و با ژنوتیپ‌های 905675 (۱۸/۵۰ درصد) در تنش سال اول، 901675 (۱۸/۳۳ درصد) و ژنوتیپ 90575 (۱۸/۰۹ درصد) تنش سال دوم در یک گروه آماری قرار گرفت و با بقیه گروه‌ها اختلاف معنی‌دار نشان داد. کم‌ترین مقدار (۱۵/۷۸ درصد) متعلق به رقم مارفونا با دو درصد افزایش بود.

این آزمایش نشان داد که نشاسته غده سیب‌زمینی تا حد بسیار زیادی تحت تأثیر ژنوتیپ قرار دارد و هم‌چنین با کاهش عملکرد تحت اثر تنش درصد نشاسته افزایش می‌یابد که با گزارش Mastalizadeh و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. Carli و همکاران (۲۰۱۴) در خصوص دلیل افزایش درصد نشاسته با کاهش میزان آب اظهار داشتند،

فشار اسمزی تنظیم کننده میزان نشاسته در غدهاست و در تنش رطوبتی درصد نشاسته افزایش پیدا می‌کند. از طرفی یک هم‌بستگی خاص بین درصد نشاسته و درصد ماده خشک غده وجود دارد و با افزایش درصد ماده خشک در شرایط تنش درصد نشاسته نیز افزایش پیدا می‌کند. با توجه نقش مهم نشاسته در کیفیت فرآورده‌های سیب-زمینی، هر چقدر مقدار نشاسته در غده‌ها بیش‌تر باشد نشان‌دهنده کیفیت بالاتر و انرژی بیش‌تر در آن‌ها است (Daraei Garmakhani*etal*., 2010). لذا می‌توان ژنوتیپ‌های 905675 و 901675را که در هر دو شرایط عدم تنش و تنش بیش‌ترین درصد نشاسته را دارند برای صنایع تبدیلی معرفی نمود.

جدول ۸- رتبه‌بندی بر مبنای عملکرد غده در شرایط تنش، عدم تنش و درصد تغییر بین این دو شرایط

Table 8- Ranking based on tuber yield in stress, non-stress conditions and percentage change between these two conditions

ژنوتیپ‌ها Genotypes	عدم تنش Non Stress	رتبه Rank	تنش Stress	رتبه Rank	درصد تغییر percentage change	رتبه Rank	جمع رتبه‌ها Sum of rankings	وضعیت ژنوتیپ Genotype status
901675	51.04	2	36.69	4	28.12	16	22	-
902375	40.86	10	33.46	8	18.11	7	25	-
901375	53.66	1	41.28	2	23.07	12	15	Tolerated
901029	33.36	16	27.06	17	18.90	10	43	Sensitive
905675	47.52	4	41.49	1	12.71	4	9	Tolerated
901575	41.27	9	36.77	3	10.89	3	15	Tolerated
901027	35.74	15	27.54	16	22.93	11	42	Sensitive
90575	49.10	3	35.27	5	28.18	18	26	-
901124	44.96	5	31.59	10	29.74	19	34	-
901627	41.41	8	33.64	7	18.76	8	23	-
901475	40.82	11	34.84	6	14.65	5	22	-
902127	37.98	13	28.90	14	23.90	13	40	Sensitive
901427	43.71	6	31.42	11	28.13	17	34	-
Satina	43.10	7	31.19	12	27.64	15	34	-
Agria	31.10	19	30.53	13	1.81	1	33	-
Atuosa	39.54	12	32.91	9	16.76	6	27	-
Anosha	29.21	20	27.73	15	5.05	2	37	-
milva	37.97	14	25.39	19	33.13	20	53	Sensitive
Jelly	32.15	17	26.10	18	18.81	9	44	Sensitive
Marfona	31.64	18	23.74	20	24.97	14	52	Sensitive

علیرغم افزایش درصد نشاسته در شرایط تنش، به‌دلیل کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی، عملکرد نشاسته در کل کاهش نشان داد. بالاترین عملکرد نشاسته در شرایط عدم تنش سال دوم متعلق به ژنوتیپ 901675 با ۱۰/۹۹ تن در هکتار بود که نسبت به سال قبل افزایش ۳۷ درصد و در اثر اعمال تنش کاهش ۳۸ درصد نشان داد و با ژنوتیپ-های 901375 و 905675 به‌ترتیب با ۹/۹۹ و ۹/۵۰ تن در هکتار عملکرد در شرایط عدم تنش سال دوم در یک گروه آماری قرار گرفت. کم‌ترین مقدار تحت شرایط تنش (۳/۰۶ و ۳/۳۰ تن در هکتار) به ترتیب از ارقام مارفونا و میلوا در سال دوم به دست آمد. به نظر می‌رسد بر اثر اعمال تنش خشکی انتقال مواد تجمع یافته به ریشه و غده سیب زمینی افزایش یافته و باعث افزایش بیش‌تر درصد ماده خشک و نشاسته شده است. این نتایج با نتایج ارائه شده توسط لیو و همکاران هم‌خوانی دارد (Liu *et al*., 2006).

میزان درصد ماده خشک از مهم‌ترین صفات پس از عملکرد می‌باشد زیرا ارقام دارای درصد ماده خشک بیش-تر هم به لحاظ صنعتی و اقتصادی و هم به لحاظ خاصیت انبارداری از اهمیت زیادی برخوردارند و اساساً هدف از تولید هر محصول، میزان ماده خشک تولیدی توسط آن است. نتایج به دست آمده (جدول ۶) نشان داد، تحت

تیمار تنش درصد ماده خشک افزایش یافت. بیش‌ترین درصد ماده خشک غده (۲۴/۹۵ درصد) از ژنوتیپ 901375 در سال دوم به‌دست آمد که نسبت به شرایط عدم تنش ۱۳ درصد، نسبت به شرایط تنش سال اول پنج درصد و نسبت به رقم آگریا نه درصد افزایش داشت. هم‌چنین با ژنوتیپ‌های 905675، 901575 و 901675 در شرایط تنش سال دوم و با ژنوتیپ‌های 901675 و 905675 در شرایط تنش سال اول آزمایش در گروه مشترک آماری قرار گرفت و با بقیه ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار داشت. کم‌ترین مقدار (۲۱/۲۳ درصد) متعلق به رقم مارفونا با ۶/۷ درصد افزایش بود.

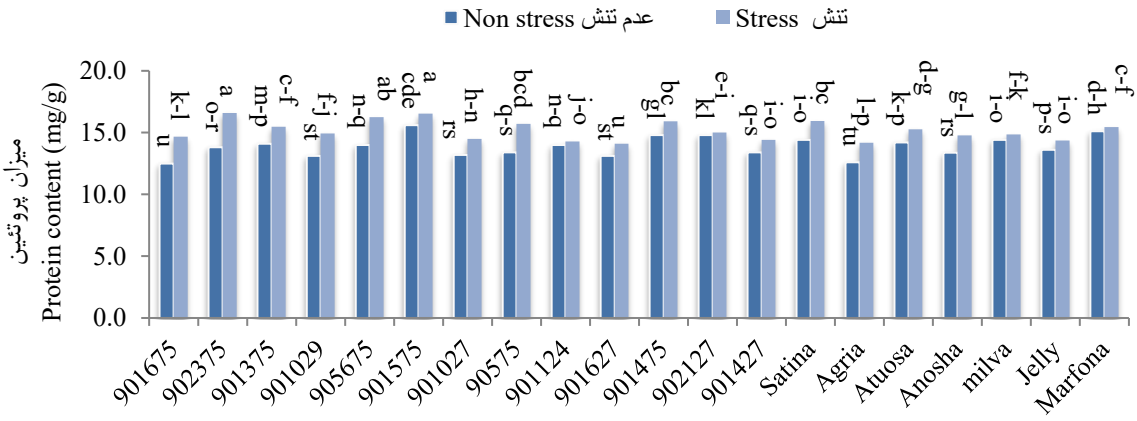
نتیجه این آزمایش نشان داد درصد ماده خشک سیب‌زمینی یکی از متغیرهایی است که به شدت تحت تأثیر ژنوتیپ قرار می‌گیرد و در ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی متفاوت است و بین حداکثر و حداقل ماده خشک غده‌ها ۱۵ درصد تفاوت مشاهده شد که علت اصلی آن را اختلاف ژنتیکی بین ارقام ذکر کرده اند (Abu Zinada& Mousa, 2015). هم‌چنین اثر تنش در افزایش درصد ماده خشک در این آزمایش با گزارش Mastalizadeh و همکاران (۲۰۲۰)، Carli و همکاران (۲۰۱۴) و Eskandari و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد و مؤید این نتیجه است که با کاهش میزان آب آبیاری و اعمال تنش خشکی درصد ماده خشک غده‌ها افزایش می‌یابد و درصد ماده خشک غده‌ها در یک رقم خاص نیز ثابت نبوده و تحت اثر عوامل مختلف محیطی تغییر می‌کند. به نظر می‌رسد علت افزایش درصد ماده خشک ناشی از اعمال تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب اطراف ریشه و کمبود آب در دسترس گیاه است که در نتیجه آب کم‌تری به بافت‌های زنده گیاه هدایت و درصد ماده خشک غده‌ها افزایش می‌یابد.

عملکرد ماده خشک، تحت تیمار تنش به دلیل کاهش عملکرد کل غده کاهش یافت (جدول ۶) و این کاهش در ژنوتیپ‌ها متفاوت بود. تحت اثر سه جانبه سال در سطوح آبیاری در ژنوتیپ، بالاترین عملکرد ماده خشک متعلق به ژنوتیپ 901675 (۱۵/۰۴ تن در هکتار) در شرایط عدم تنش سال دوم بود که نسبت به سال اول افزایش ۶۳ درصد و تحت شرایط تنش، کاهش ۴۰ درصد نشان داد. هم‌چنین با ژنوتیپ‌های 901375 و 905675 به ترتیب با عملکرد ۱۴/۷۶ و ۱۳/۶۵ تن در هکتار در گروه مشترک آماری قرار گرفت. رقم مارفونا با ۴/۲۲ تن در هکتار و کاهش ۴۴ درصد نسبت به شرایط عدم تنش کم‌ترین عملکرد ماده خشک را در شرایط تنش سال دوم داشت. پژوهش‌های متعددی مؤید این مطلب است که با اعمال تنش خشکی، ضمن کاهش عملکرد، درصد ماده خشک غده‌ها افزایش می‌یابد که نتیجه این تحقیق با پژوهش‌های یاد شده مطابقت دارد (Eskandari *et al*., 2011; Ayas, 2013).

با توجه به این که ۷۵ تا ۸۵ درصد از وزن غده سیب‌زمینی را آب تشکیل می‌دهد Daraei Garmakhani و همکاران (۲۰۱۰)، بنابراین می‌توان چنین بیان کرد که افزایش این صفات به موازات اعمال تنش خشکی با کاهش آب موجود در غده‌های سیب‌زمینی همراه است. بنابراین با بررسی اثر تیمارهای آزمایشی بر درصد ماده خشک غده‌ها می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌های 905675، 901675 و 901375 برای استفاده در صنایع فرآوری و هم‌چنین برای افزایش درصد ماده خشک غده‌ها با حفظ عملکرد اقتصادی و کیفیت مناسب، در تولید محصول سیب‌زمینی قابل توصیه می‌باشند.

تنش خشکی میزان پروتئین غده را افزایش داد. داده‌های حاصل از مقایسه میانگین (شکل ۱) نشان داد، تحت تیمار تنش، بالاترین میزان پروتئین (۱۶/۵۸، ۱۶/۵۳ و ۱۶/۲۵میلی‌گرم برگرم وزن تر غده) به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های 902375، 901575 و 905675 با ۲۰، پنج و ۱۶ درصد افزایش بود، و نسبت به رقم آگریا به طور متوسط ۱۷ درصد افزایش داشت. هم‌چنین با ژنوتیپ‌های 90575، 901475، ساتینا و آتوسا در یک گروه مشترک آماری قرار گرفته و با بقیه گروه‌ها اختلاف معنی‌دار داشتند. کم‌ترین مقدار (۱۴/۱۰ میلی‌گرم درگرم) با هفت درصد افزایش از ژنوتیپ 901627 به دست آمد. ژنوتیپ 902127 با ۱/۳ درصد پایین‌ترین افزایش را داشت. این در حالی است که در آزمایش Gervais و همکاران (۲۰۲۱) میزان پروتئین در ژنوتیپ‌های متحمل و نیمه

متحمل به ترتیب ۲۵ و ۱۵ درصد افزایش داشت اما ژنوتیپ حساس ۲۵ درصد کاهش نشان داد. نتایج نشان داد علاوه بر تغییر در اثر تنش، بین ژنوتیپ‌ها نیز نسبت به این صفت بین کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار، ۲۴ درصد اختلاف بود. مشابه این نتایج توسط محققین زیادی اظهار شده است، به‌عنوان مثال در آزمایشی بر روی ۳۶ رقم و پنج ژنوتیپ سیب‌زمینی گزارش شده است که اختلاف ارقام و ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد پروتئین معنی‌دار بودند (Aghighi Shahverdi*et al*., 2017). در این آزمایش مشخص شد میزان پروتئین با عملکرد غده رابطه معکوس دارد، یعنی محتوای پروتئین غده در شرایط تنش که از عملکرد پایین‌تری نسبت به شرایط عدم تنش برخوردار است، بالاتر است. هم‌چنین Zhang و همکاران (۲۰۱۷) در خصوص رابطه معکوس عملکرد غده با میزان پروتئین اظهار داشتند که با افزایش عملکرد غده، میزان نیتروژن و در نتیجه پروتئین رقیق شده و از درصد آن کاسته می‌شود.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در آبیاری بر میزان پروتئین.

Figure 1- Comparison of the average interaction effect of genotype in irrigation on the amount of protein

بهره‌وری مصرف آب برای هر یک از ارقام مورد بررسی بر مبنای داده‌های حاصل از عملکرد غده و حجم آب کاربردی (آب مصرفی + باران موثر) برای شرایط عدم تنش و تنش به‌طور جداگانه محاسبه شد (جدول ۹). در شرایط تنش بیش‌ترین بهره‌وری (۹/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به ژنوتیپ‌های 905675 با ۵۰ درصد افزایش و بعد از آن 901375 (۹/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب) با ۳۵ درصد افزایش در رتبه بعدی بود. کم‌ترین بهره‌وری متعلق به رقم مارفونا با ۵/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود، کم‌ترین افزایش تحت تنش (۱۷ درصد) در رقم میلوا اتفاق افتاد. نتایج نشان داد ژنوتیپ 901375 دارای بهره‌وری بالا در هر دو شرایط عدم تنش و تنش بود. در این آزمایش مشخص شد با اعمال تنش، بهره‌وری مصرف آب به‌صورت متفاوت در ژنوتیپ‌ها افزایش پیدا کرد. و مؤید این مطلب است که کارائی مصرف آب بالاتر برای گونه‌های سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی، شاخصی است که نشان می‌دهد این گونه‌ها پتانسیل بالاتری برای عملکرد بالاتر حتی در شرایط سطوح پائین رطوبتی دارند و بنابراین آن‌ها را مناسب برای شرایط خشکی نموده است (Koech *et al*, 2015). با افزایش بهره‌وری مصرف آب، تولید بیوماس بیش‌تر به ازای آب مصرف شده به‌دست می‌آید و مقدار آب کم‌تری برای رشد و توسعه گیاه لازم می‌باشد و این می‌تواند دلیلی باشد که گیاهانی با کارائی مصرف آب بالا در پاسخ به تنش خشکی مقاومت بیش‌تری به خشکی دارند (Servani*et al*., 2014). Ahmadi و همکاران (۲۰۱۴) و Haghighati و همکاران (۲۰۱۶) نیز طی آزمایشی افزایش بهره‌وری مصرف آب در سیب‌زمینی تحت اثر تنش خشکی را گزارش کرده‌اند. همبستگی مثبت و بسیار بالا ($r = 1.00$) بین بهره‌وری مصرف آب، وزن غده در بوته و عملکرد غده در شرایط تنش (جدول ۷) نشان

می‌دهد ژنوتیپ‌های با بهره‌وری مصرف آب بالا، دارای پتانسیل تحمل و پایداری عملکرد تحت تنش هستند، لذا بر مبنای جدول ۹ ژنوتیپ‌های با بهره‌وری بالا و پایین در تنش به ترتیب با عنوان متحمل و حساس مشخص شدند

شاخص‌های تنش نیز برای هر یک از ارقام مورد بررسی به‌طور جداگانه محاسبه شد (جدول ۹). به این منظور از شاخص‌های HM، GMP، STI و MP استفاده گردید. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با شاخص‌های تنش نشان داد، به‌ترتیب ژنوتیپ‌های 901375، 905676 و 901675 با کسب بیش‌ترین مقدار عددی در هر ۴ شاخص مورد استفاده، دارای پتانسیل بالای تحمل در شرایط تنش هستند و رقم‌های مارفونا و جلی با کم‌ترین تحمل به‌عنوان ارقام حساس معرفی شدند. گزارش شده شاخص‌های تحمل MP، HM، GMP و STI هم‌بستگی مثبت و بسیار بزرگی با عملکرد در شرایط عدم تنش و تنش داشتند و ضمن استفاده از این شاخص‌ها برای گزینش ارقام سیب-زمینی در شرایط تنش آبی اعلام کردند، ژنوتیپ‌های با مقادیر عددی بزرگ برای این شاخص‌ها، عملکرد بالایی در شرایط تنش و عدم تنش داشتند (Vesali*et al*., 2021; Yarahmadi *et al*., 2020; Hassanpanah&Hassanabadi, 2011).

جدول ۹- تعیین ژنوتیپ‌های حساس و متحمل از طریق بهره‌وری مصرف آب و شاخص‌هایتنش

Table 9- Determining of Sensitive and tolerant genotypes through water use efficiency and stress indices

ژنوتیپ‌ها Genotypes	MP	HM	GMP	STI	وضعیت ژنوتیپ Genotype status	بهره‌وری مصرف آب Water use efficiency		وضعیت ژنوتیپ Genotype status
						تنش Stress	بدون تنش Non Stress	
901675	43.86	21.34	43.27	1.14	Tolerated	8.74	6.92	Tolerated
902375	37.16	18.39	36.97	0.83	_	7.97	5.54	_
901375	47.47	23.23	47.06	1.35	Tolerated	9.84	7.28	Tolerated
901029	30.21	14.93	30.04	0.55	Sensitive	6.45	4.52	Sensitive
905675	44.62	22.20	44.51	1.21	Tolerated	9.89	6.58	Tolerated
901575	39.02	19.45	38.96	0.92	Tolerated	8.76	5.60	Tolerated
901027	31.65	15.56	31.38	0.60	_	6.57	4.85	Sensitive
90575	42.19	20.53	41.62	1.05	Tolerated	8.41	6.66	Tolerated
901124	38.28	18.55	37.69	0.86	_	7.53	6.10	_
901627	37.53	18.56	37.32	0.85	_	8.02	5.62	_
901475	37.83	18.80	37.71	0.87	_	8.30	5.54	_
902127	33.44	16.41	33.13	0.67	_	6.89	5.15	_
901427	37.57	18.28	37.06	0.84	_	7.49	5.93	_
Satina	37.15	18.10	36.67	0.82	_	7.43	5.85	_
Agria	32.17	16.04	32.12	0.63	_	7.28	4.58	_
Atuosa	36.33	17.96	36.08	0.79	_	7.85	5.36	_
Anosha	29.22	14.61	29.22	0.52	Sensitive	6.96	3.96	Sensitive
milva	31.68	15.22	31.05	0.59	Sensitive	6.05	5.15	Sensitive
Jelly	29.94	14.72	29.69	0.54	Sensitive	6.22	4.58	Sensitive
Marfona	27.70	13.57	27.41	0.46	Sensitive	5.66	4.29	Sensitive

با توجه به جدول هم‌بستگی (جدول ۷) مشاهده می-شود بین وزن غده در بوته و عملکرد غده در هر دو شرایط عدم تنش و تنش با شاخص‌های HM، GMP، STI و MP هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود دارد و لذا برای غربال مطلوب‌تر ژنوتیپ‌های متحمل می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. افزون بر این هم-بستگی بین این شاخص‌ها نیز مثبت و معنی‌دار بود که با توجه به همبستگی آن‌ها با عملکرد غده بر مطلوبیت استفاده هم‌زمان این شاخص‌ها در گزینش ژنوتیپ‌ها می-افزاید.

برای ارزیابی مطلوب‌تر ژنوتیپ‌ها از لحاظ صفات کیفی مورد مطالعه، رتبه بندی عددی بین یک و ۲۰ انجام گرفت. بدین منظور در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به بیش‌ترین درصد تغییر بین دو شرایط تنش و عدم تنش از لحاظ صفات نشاسته، ماده خشک و میزان پروتئین، رتبه یک و به کم‌ترین میزان تغییر، رتبه ۲۰ تعلق گرفت. در بررسی صفات درصد نشاسته و درصد ماده خشک مشخص شد که ژنوتیپ 901575 دارای بیش‌ترین و ژنوتیپ 901029 دارای کم‌ترین تغییر در زمان بروز تنش بوده است. در بررسی دیگر صفات کیفی نیز این روند مشاهده شد. در پایان مجموع رتبه‌های به‌دست آمده برای ۲۰ ژنوتیپ مورد مقایسه قرار گرفت، ژنوتیپ دارای بیش‌ترین مقدار عددی به‌عنوان ژنوتیپ حساس و ژنوتیپ دارای کم‌ترین مقدار عددی به‌عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی شدند (جدول ۱۰). در نهایت از طریق عوامل بررسی شده ژنوتیپ‌های متحمل و حساس مشخص شد (جدول ۱۱).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضرنشان داد با اعمال تنش، وزن غده در بوته و عملکرد غده کاهش معنی‌دار نسبت به شرایط عدم تنش داشت، اما این کاهش در ژنوتیپ‌های مورد بررسی متفاوت بود. بیش‌ترین وزن غده در بوته و عملکرد غده تحت تیمار تنش با ۱۱ درصد کاهش نسبت به شرایط عدم تنش متعلق به ژنوتیپ 905675 و کم‌ترین مقدار با ۴۴ درصد کاهش در هر دو صفت مربوط به رقم مارفونا بود. به‌علاوه درصد نشاسته، درصد ماده خشک و میزان پروتئین با افزایش تحت تنش رابطه معکوس با عملکرد غده نشان دادند. بیش‌ترین درصد ماده خشک با ۱۳ درصد افزایش مربوط به ژنوتیپ 901375 و بیش‌ترین درصد نشاسته با نه درصد افزایش مربوط به ژنوتیپ 905675 بود. کم‌ترین مقدار در هر دو صفت از رقم مارفونا به‌دست آمد. بالاترین میزان پروتئین مربوط به ژنوتیپ 902375 با ۲۰ درصد افزایش نسبت به شرایط عدم تنش و کم‌ترین مقدار متعلق به ژنوتیپ 901627 بود. بالاترین بهره‌وری مصرف آب در شرایط تنش از ژنوتیپ‌های 905675 و 901375 به‌ترتیب با عملکرد ۹/۸۹ و ۹/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد. از نظر شاخص‌های تحمل نیز ژنوتیپ‌های 901375 و 905676 با بیش‌ترین مقدار عددی در هر چهار شاخص مورد ارزیابی به‌ترتیب دارای پتانسیل بالای تحمل در شرایط تنش بودند. در کل پس از بررسی عامل‌های مورد آزمایش و تجزیه و تحلیل داده‌ها، نتایج به‌دست آمده از طریق بررسی درصد تغییر صفات مورد مطالعه، محاسبه شاخص‌های تنش و جمع‌بندی از عامل‌های مذکور می توان از بین ۲۰ ژنوتیپ مورد مطالعه، به‌ترتیب ژنوتیپ‌های 905675، 901575 و 901575 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و دارای پتانسیل عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و عدم تنش و جایگزین مناسبی برای رقم پر سابقه آگریا در منطقه اردبیل و هم‌چنین ارقام میلوا، جلی و مارفونا را به‌عنوان ارقام حساس معرفی نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان از مدیریت محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل و کارشناسان آزمایشگاه گروه آموزشی مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه محقق اردبیلی به خاطر مساعدت و همکاری در اجرای این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند.

جدول ۱۰- محاسبه درصد تغییر و رتبه بندی صفات مورد بررسی در شرایط تنش و عدم تنش

Table 10- Calculation of percent change and ranking of investigated traits under stress and non-stress conditions

ژنوتیپ‌ها Genotypes	درصد نشاسته Starch%		عملکرد نشاسته Starch yield(t/ha)		میزان پروتیین Protein content (mg/g)		درصد ماده خشک Dry matter%		عملکرد ماده خشک Dry matter yield(t/ha)		مجموع رتبه‌ها Sum of rankings	وضعیت ژنوتیپ Genotype status
	درصدتغییر percentage change	رتبه Rank	درصدتغییر percentage change	رتبه Rank	درصدتغییر percentage change	رتبه Rank	درصدتغییر percentage	رتبه Rank	درصدتغییر percentage change	رتبه Rank		
901675	-2.74	14	26.65	16	-17.41	2	-2.07	14	27.01	16	62	-
902375	-2.86	13	15.51	7	-20.11	1	-0.12	13	16.19	7	41	-
901375	-5.73	4	19.49	12	-9.46	8	-4.28	4	20.39	12	40	-
901029	-1.09	20	18.10	11	-13.94	5	-.80	20	18.32	10	66	-
905675	-6.22	3	8.27	3	-16.02	4	-4.68	3	9.36	4	17	Tolerated
901575	-9.46	1	3.16	2	-5.94	15	-7.00	1	5.27	2	21	Tolerated
901027	-2.88	12	21.07	13	-9.67	14	-2.15	12	21.55	13	64	-
90575	-1.76	16	26.79	17	-17.23	17	-1.32	16	27.14	17	83	Sensitive
901124	-1.42	18	28.66	19	-1.98	7	-1.04	18	28.94	19	81	Sensitive
901627	-1.44	17	18.04	10	-7.58	3	-1.07	17	18.23	9	56	-
901475	-5.18	5	10.32	4	-7.50	10	-3.82	5	11.45	5	29	Tolerated
902127	-8.04	2	17.84	9	-1.31	11	-5.87	2	19.47	11	35	-
901427	-1.26	19	27.09	18	-7.41	16	-0.93	19	27.36	18	90	Sensitive
Satina	-3.37	10	25.11	15	-10.72	13	-2.46	10	25.79	15	63	-
Agria	-4.60	8	2.56	1	-12.38	6	-3.29	8	1.41	1	24	Tolerated
Atuosa	-2.17	15	14.75	6	-7.46	19	-1.62	15	15.26	6	61	-
Anosha	-4.87	6	10.66	5	-10.61	18	-3.63	6	9.29	3	38	-
milva	-3.02	11	31.18	20	-3.08	20	-2.19	11	31.71	20	82	Sensitive
Jelly	-4.79	7	15.54	8	-5.47	9	-3.50	7	16.41	8	39	-
Marfona	-4.46	9	24.05	14	-2.28	12	-3.21	9	22.86	14	58	-

جدول ۱۱-تعیین ژنوتیپ‌های حساس و متحمل از طریق عوامل بررسی شده

Table 11- Determining of Sensitive and tolerant genotypes by investigated factors

ژنوتیپ‌ها Genotypes	عملکرد غده tuber yield (t/ha)	شاخص‌های تنش stress indices	بهره وری مصرف آب Water use efficiency	رتبه درصد تغییرات صفات Rank percentage change of traits	وضعیت ژنوتیپ Genotype status
901675	-	Tolerated	Tolerated	-	-
902375	-	-	-	-	-
901375	Tolerated	Tolerated	Tolerated	-	Tolerated
901029	Sensitive	Sensitive	Sensitive	-	Sensitive
905675	Tolerated	Tolerated	Tolerated	Tolerated	Tolerated
901575	Tolerated	Tolerated	Tolerated	Tolerated	Tolerated
901027	Sensitive	-	Sensitive	-	-
90575	-	Tolerated	Tolerated	Sensitive	-
901124	-	-	-	Sensitive	-
901627	-	-	-	-	-
901475	-	-	-	Tolerated	-
902127	Sensitive	-	-	-	-
901427	-	-	-	Sensitive	-
Satina	-	-	-	-	-
Agria	-	-	-	Tolerated	-
Atuosa	-	-	-	-	-
Anosha	-	Sensitive	Sensitive	-	-
milva	Sensitive	Sensitive	Sensitive	Sensitive	Sensitive
Jelly	Sensitive	Sensitive	Sensitive	-	Sensitive
Marfona	Sensitive	Sensitive	Sensitive	-	Sensitive

References

Abu-Zinabad, I. & Mousa, W. (2015). Growth and productivity of different potato varieties under Gaza Strip conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(3), 433-450.

Aghighi Shahverdi, M., Maleki Farahani, S. &Mamivand, B. (2017). Evaluation of changes of protein percentage, lysine and methionine amino acids in potato genotypes and cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology*, 9(29), 103-112. (In Persian).

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. https://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. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.11.019

Altamas Arefin, M.d., Rashedur Rahman, M.D.M., Atikur Rahman, A.N. &Mominul Islam, A.K.M. (2018). Weed competitiveness of winter rice (*Oryza sativa* L.) under modified aerobic system. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 3(1), 1-14. https://doi.org/10.26832/24566632.2018.030101

Anonymous. 2020. Volume One, *Crops*. Ministry of Jihad Agriculture, Information and Communication Technology Center, pp 95.

Askari, N., Ghahramani, R., Reisi, A., Sadat-Hosseini, M. & Parsa Motlagh, B. (2023). The role of thermal stress on in vitro potato

micromicrotuber induction. *Journal of Vegetables Sciences,* 6(2): 73-84. https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.562669.1236

Ayas, S. (2013). The effects of different regimes on potato (*Solanum tuberosum* L. Hermes) yield and quality characteristics under unheated greenhouse conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(1), 87-95.

Beals, K. A. (2019). Potatoes, nutrition and health. *American Journal of Potato Research*, 96, 102–110. https://doi.org/10.1007/s12230-018-09705-4

Carli, C., Yuldashev, F., Khalikov, D., Condori, B., Mares, V. &Monneveux, P. (2014). Effect of different irrigation regimes on yield, water use efficiency and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the lowlands of Tashkent, Uzbekistan. A field and modeling perspective. *Field Crops Research*, 163, 90-99. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.03.021

Chang, D.C., Jin, Y.I., Nam, J.H., Cheon, C.G., Cho, J.H., Kim, S.J. & Yu, H.S. (2018).Earlydrought effect on canopy development and tubergrowth of potato cultivars with differentmaturities. *Field Crops Research*, 215, 156-162. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.008

Chehelgardi, A., Saffari, M. &Abdolshahi, R.(2014). Effect of super absorbent polymer, potassium sulphate and farmyard manure on physiological characteristics of millet (*Setaria italica*) optimum irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Production*, 7(2), 43-60. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.2008739.1393.7.2.3.8

Daraei Garmakhani, A., Mirzaei, H., Maghsoudlo, Y. &Kashaninajad, M. (2010). Investigation of the physicochemical properties of three potatovarieties of Golestan province and their effects on quality attribute of French fries. *Journal of Food Science and Technology*, 7(1), 1-9. (In Persian). http://fsct.modares.ac.ir/article-7-10041-en.html

Drapal, M., Farfan-Vignolo, E.R., Bonierbale, M., Mihovilovich, E. & Gutierrez, O.R. (2017).Fraser.P.D. Identification of metabolites associatedwith water stress responses in (*Solanumtuberosum* L.) clones. *Phytochemistry*, 135, 24-33. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.12.003

Eskandari, A., khazaei, H. & nezami, A. V. (2011). Study the Effects of Irrigation Regimes on Yield and Some Qualitative Characteristics of Three Cultivars of Potato (*Solanum tubersum* L). *Journal of Water and Soil*, 25(2), 240-247. (In Persian).

Fahad, S., Bajwa, A.A., Nazir, U., Anjum, S.A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S. & Saud, S. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-16. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147

FAO. (2019). FAOSTAT, food and agriculture organization, Rome. Retrieved from http://www.fao.org.

Fernandez, G.C.J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *Proceedings of the Int*. Symp on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperatureand Water Stress. Taiwan, 257-270. https://doi.org/10.22001/wvc.72511

Gervais, T., Creelman, A., Li, X-Q., Bizimungu, B., De Koeyer, D., & Dahal, K. (2021). Potato Response to Drought Stress: Physiological and Growth Basis. *Crop and Product Physiolog*, 12:698060. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.698060

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*, 7(28), 45-60. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.2008403.1394.7.28.4.5

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Anee, T.I., Khan, M.I.R. & Fujita, M. (2018). Siliconmediated regulation of antioxidant defense and glyoxalase systems confers drought stress tolerance in *Brassica napus* L. *South African Journal of Botany*, 115, 50–57. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.12.006

Hassanpanah, D. &Hassanabadi, H. (2011). Evaluating Tolerance of Potato Cultivars and Promising Clones to Water Deficit in Ardabil

Region. *Journal of Crop and Weed Ecophysiology,* 4(16), 1-18. (In Persian).

Hassanpnah, D., Kazemi, M., Musapour Gorji, A. & Jalali A. H. (2018).Comprehensive guide to modern potato farming. First Edition. Agricultural Education Publications. *Office of Knowledge Network and Promotional Media*, pp 324. (In Persian).

Hosseinzadeh, A. A. (2014). Investigation of the water stress effects on yield and yield components of Medium late Omidbakhsh three clones introduction of potato (397097- 2 , 397082-10 and 397081-1). *Final report of the research project of Ardabil province Agricultural and Natural Resources Research Center*, pp33.

Khazaei, A. (2017). Evaluation of drought stress tolerance in promising forage sorghum lines (Sorghum bicolor L. Moench). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(1), 73-85. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.15625540.1396.19.1.6.2

Kiptoo, S., Kipkorir, E. & Kiptum, C. (2018). Effects of deficit irrigation and mulch on yield and quality of potato crop. *African Journal of Education*, *Science and Technology*, 4(4), 65-77.

Koech, O. K., Kinuthia, R.N., Karuku, G.N., Mureithi, S.M. &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 of Environmental Science and Technology*, 9(7), 632-640. https://doi.org/10.5897/AJEST2015.1917

Kristin, A.S., Serna, R.R., Perez, F.I., Enriquez, B.C., Gallegos, J.A.A., Vallejo, P.R., Wassimi, N. &Kelley, J.D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37, 43-50. https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700010007x

Liu, F., Shahnazri, A., Andersen, M. N., Jacobsen, S. E. & Jensen, C. R. (2006). Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae*, 109, 113-117. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.04.004

Mahgoub, H.A.M., Eisa, G.S.A. & Youssef, M.A.H.(2015). Molecular, biochemical and anatomical analysis of some potato (*Solanum tuberosum*. L) cultivars growing in Egypt. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 13(1), 39-49.https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2014.11.004

Mastalizadeh, B., khajoei-Nejad, Gh. & Moradi, R. (2020). Assessing physico-chemical properties of potato as affected by different irrigation methods. *Journal of Plant process and function*, 9(36), 33-48. (In Persian).

Mohammadkhani, N. & Sharifi, P. (2016). Anti-oxidative response of different wheat genotypes to drought during anthesis. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 6(4), 1845-1854. https://doi.org/10.30495/ijpp.2016.532655

Mostofi, s. &najafi, f .(2005). Analytical laboratory methods in horticultural sciences. *Publishers of Tehran University*, pp135. (In Persian).

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. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00542

Qin, J., Bian, C., Liu, J., Zhang, J. & Jin, L. (2019). An efficient greenhouse method to screen potato genotypes for drought tolerance. *Scientia Horticulturae- Scientia*, 253, 61-69. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.017

Rosielle, A.A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21, 943-946. https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x

Servani. M., Mobasser, M.R., Sobhkhizi, A. & Adiban, M. (2014). Effect of phosphorus fertilizer on plant height, seed weight and number of nodes in soybean. *International Journal of olant, animal and environmental scienes*, 4(2), 696-700.

Samaeei, M., Mohammad Modarres-Sanavy, S, A., 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*, 74(7), 527-540. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.128238.653902

Shock, C.C., Shock, B.M. & Welch, T. (2013). Strategies for Efficient Irrigation Water Use. Oregon State University. *Sustainable Agriculture Techniques*, pp 1-7.

Takeda, S. & Matsuoka, M. (2008). Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population change. *Nature*, 9(6), 444- 457. https://doi.org/10.1038/nrg2342

Tolk, J.A., Evett, S.R., Xu, W. & Schwartz, R.C. (2016). Constraints on water useefficiency of drought tolerant maize grown in a semi-arid environment. *FieldCrops Research*, 1(186), 66-77. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.11.012

Vesali, M.R., Baradaran, R., Hassanpanah, D. &Soqa al-Islami, M. J. (2021). Determining the Tolerance of Hybrids from Combination of Potato Cultivars to Different Aridity Conditions in Ardabil Province. *Journal of Crop Breeding*, 13(37), 146-158. (In Persian). https://doi.org/10.52547/jcb.13.37.146

Yarahmadi, S., Nematzade, Gh., Sabouri, H. & Najafi zarini, H. (2020). Relationships Between Drought Stress Tolerance Indices and Their Use in Wheat Screening Programs. *Journal of Crop Breeding*, 12(33), 29-41. (In Persian). https://doi.org/10.29252/jcb.12.33.29

Zebarjadi, A.R., Shadpey, T., Etminan, A.R. & Mohammadi, R. (2013). Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*, 29(1), 1-12.

Zhang, Y.L., Wang, F.X., Shock, C.C., Yang, K.J., Kang, Sh.Zh., Qin, J.T. & Li, S.E. (2017). Influence of different plastic film mulches and wetted soil percentages on potato grown under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 180, 160-171. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.018

Ziachehreh, M., Tobeh, A., Hassanpanah, D. & Farzaheh, S. (2024a). The responses of some agronomic and qualitative traits of potato genotypes to foliar spraying of anti-cold compounds (freezbon and potassium) in two different planting dates**.** *Journal of Vegetables Sciences,* 8(1), 69-90. https://doi.org/10.22034/IUVS.2023.1978110.1252

Ziachehreh, M., Tobeh, A., Hassanpanah, D. &Farzaheh, S. (2024b). Influence of Planting Date and Foliar Application of Antifreeze Compounds on Some Morpho-physiological Traits of Potato Cultivars in Ardabil Region**.** *Journal of Vegetables Sciences,* 7(2), 136-159. https://doi.org/10.22034/IUVS.2022.1971753.1245