Crop Biotechnology Open Access

Spring (2025) 14 (3): 53-68.
DOI: 10.30473/cb.2025.72772.1988

ORIGINAL ARTICLE

The impact of drought on the yield and yield components of some potato genotypes

Ahmad Mousapour Gorji[1], Abbas Saidi[2], Marjan Samaee[3], Davoud Hassanpanah[4], Zahra Hajibarat[2]

1. Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Vegetable Department, Karaj, Iran.
2. Department of Cell & Molecular Biology, Faculty of Life Sciences & Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3. Rural Cooperative Organization, Tehran, Iran.
4. Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources, Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran.

Correspondences:
Ahmad Mousapour Gorji
Email:abbas.saidi@gmail.com
mousapour.gorji@gmail.com

Received: 13, Nov. 2024
Accepted: 5, Apr. 2025

How to cite:
Mousapour Gorji, A., Saidi, A., Samaee, M., Hassanpanah, D., & Hajibarat, Z. (2025). The impact of drought on the yield and yield components of some potato genotypes. *Crop Biotechnology*, 14 (3), 53-68.
(DOI: 10.30473/cb.2025.72772.1988)

ABSTRACT

To investigate the effect of water stress on some essential traits of potato, an experiment was conducted in 2019 in Karaj using a factorial design within a completely randomized block design with three replications. The first factor included two irrigation treatments (water stress and control), and the second factor consisted of 11 potato genotypes (Agria, Caesar, Savalan, Santé, Marfona, Milva, Picasso, Hermes, Jelly, 397081-1 (1-81), 397069-2 (2-69)). Drip irrigation was applied under normal conditions, while irrigation was stopped for 25 days during the tuberization stage to create water stress, with the stress level being 50% of the field's soil water holding capacity during this period. Irrigation treatments and genotypes showed significant differences ($p < 0.01$) for biological yield, total tuber yield, specific gravity, dry matter, biological yield, tuber number, tuber yield, and number of tubers smaller than 35 mm, number of tubers larger than 55 mm, and tubers between 35 to 55 mm in size. The number of tubers larger than 55 mm was higher under both water stress and normal conditions, indicating the market preference for the Hermes variety and clone 397069-2 (2-69). Based on the results, the Hermes variety and clone 397069-2 were identified as the most drought-tolerant varieties, showing higher total and biological yields under water stress conditions. The findings of this study can recommend suitable varieties for economic potato production and contribute to improving income and food security in Iran.

KEYWORDS

Biological function, factorial, genotype, specific weight, tuber size

© 2025, by the author(s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
https://cropbiotech.journals.pnu.ac.ir/

زیست‌فناوری گیاهان زراعی

سال چهاردهم، شماره سوم، پیاپی ۴۹، بهار ۱۴۰۴ (۶۸-۵۳)

DOI: 10.30473/cb.2025.72772.1988

«مقاله پژوهشی»

تاثیر خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد برخی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی

احمد موسی‌پور گرجی[۱]، عباس سعیدی[۲]، مرجان سماعی[۳]، داود حسن‌پناه[۴]، زهرا حاجی‌برات[۲]

۱. مؤسسه اصلاح وتهیه نهال بذر (SPII)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، گروه سبزی و صیفی، کرج، ایران.

۲. گروه زیست‌شناسی سلولی مولکولی ، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. سازمان تعاون روستایی، تهران، ایران.

۴. گروه تحقیقات محصولات باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، AREEO، اردبیل، ایران.

نویسنده مسئول:
احمد موسی‌پور گرجی
رایانامه:abbas.saidi@gmail.com
رایانامه: mousapour.gorji@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶

استناد به این مقاله:
موسی‌پور گرجی، احمد؛ سعیدی، عباس؛ سماعی، مرجان؛ حسن‌پناه، داود و حاجی‌برات، زهرا (۱۴۰۴). تاثیر خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد برخی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی، *فصلنامه علمی زیست‌فناوری گیاهان زراعی*، ۱۴ (۳)، ۶۸-۵۳.
(DOI: 10.30473/cb.2025.72772.1988)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش آبی بر برخی ویژگی‌های ضروری سیب‌زمینی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۹ در کرج اجرا شد. عامل اول شامل تیمار آبیاری در دو سطح (تنش و شاهد) و عامل دوم شامل ۱۱ ژنوتیپ سیب‌زمینی (آگریا، سزار، ساوالان، سانته، مارفونا، مـی‌لـوا، پیکاسـو، هرمس، جلی، ۳۹۷۰۸۱-۱ (۱-۸۱) ، ۳۹۷۰۶۹-۲ (۲-۶۹)) در نظر گرفتـه شـدند. آبیـاری قطـره‌ای بـرای شـرایط نرمال به‌طور معمول انجام شد و برای تیمار خشکی در مرحله غده‌زایی بـرای ایجـاد تـنش آبـی بـه‌مـدت ۲۵ روز متوقف شد. تنش خشکی معادل ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه در این مدت بـود. مراحـل آبیـاری و ژنوتیـپ‌هـا تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ($p<۰/۰۱$) بر عملکرد بیولـوژیکی و عملکـرد کـل غـده، وزن مخصـوص، مـاده خشک، عملکرد بیولوژیک، تعداد غده، عملکرد غده، اندازه غده کوچک‌تر از ۳۵ میلی‌متر، اندازه غده بزرگ‌تـر از ۵۵ میلی‌متر و اندازه غده بین ۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر داشتند. نتایج نشان داد که همبستگی بالا و معنی‌داری بـین عملکـرد بیولوژیکی و تعداد کل غده و عملکرد کل با عملکرد بذری و اندازه غده بین ۳۵ تا ۵۵ میلی‌متـر وجـود دارد. تعـداد غده‌هایی که بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر بودند نیز در شرایط تنش خشکی و شرایط نرمال بیشتر بود، که نشـان‌دهنـده بازارپسندی رقم هرمس و کلون ۲-۶۹ است. براسـاس نتـایج مطالعـه حاضـر رقـم هـرمس و کلـون ۳۹۷۰۶۹-۲ متحمل‌ترین رقم شناسایی شدند که تحت تنش خشکی عملکرد کل و بیولوژیکی بالاتری داشـتند. نتـایج مطالعـه حاضر می‌تواند ارقام مطلوب برای تولید اقتصادی سیب‌زمینی و بهبود درآمد و امنیت غذایی در ایران توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی

اندازه غده، ژنوتیپ، فاکتوریل، عملکرد بیولوژیک، وزن مخصوص.

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. ۱۴۰۳ ©. ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.

این مقاله تحت مجوز Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) منتشر شده و استفاده از آن با ارجاع صحیح مجاز است.

(http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) از نظر عملکرد و پروتئین با کیفیت در واحد سطح و واحد زمان یکی از پرمحصول‌ترین محصولات غذایی است. این محصول به دلیل تولید عملکرد بالا و با کیفیت نقش به سزایی در امنیت غذایی ایفا می‌کند (Devaux *et al.*, 2021). تولید جهانی سیب‌زمینی سالانه حدود ۳۶۰ میلیون تن می‌باشد که در ۱۶٫۵ میلیون هکتار زمین زراعی تولید می‌شود (FAOSTAT, 2020). به‌رغم مقادیر بالای سیب‌زمینی تولید شده در سراسر جهان، شکاف‌های عملکردی به‌دلیل چالش‌هایی از جمله تنش‌های غیر زیستی، آفات، تغییرات آب و هوایی و شیوه‌های تولید ضعیف وجود دارد (Eid et al., 2020). مجموع سطح زیر کشت سیب‌زمینی در استان‌های سردسیر، گرمسیر و معتدل در ایران ۱۵۰ تا ۱۶۰ هزارهکتار بود. براساس آمار طی ۵ تا ۶ سال اخیر بالای ۵ میلیون تن سیب‌زمینی تولید شده‌است. سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ پنج میلیون و ۳۰۰ هزار تن محصول تولید شد (https://amarfact.com/statistics). تغییرات آب و هوایی جهانی به‌شکل گرمای شدید و خشکسالی با تأثیر منفی بر عملکرد گیاه و عملکرد محصول، چالش بزرگی را برای تولید پایدار محصولات کشاورزی ایجاد می‌کند (Tang *et al.*, 2018, Saidi and Hajibarat, 2020). چنین تأثیر منفی بر عملکرد محصول احتمالاً در آینده تشدید خواهد شد زیرا ادامه انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث افزایش بیشتر دما می‌شود که منجر به افزایش تبخیر- تعرق و شدت خشکسالی می‌شود (Zarzynska *et al.*, 2017). این امر چالش بزرگی را برای دانشمندان گیاهی در تأمین تقاضای جهانی غذا ایجاد کرده است که نیاز فوری به افزایش دو برابر عملکرد فعلی محصولات غذایی عمده برای تغذیه جمعیت رو به افزایش را ضروری می‌کند. به‌عنوان چهارمین محصول عمده غذایی، افزایش بهره‌وری سیب‌زمینی برای امنیت غذایی جمعیت در حال افزایش مهم است. سیب‌زمینی به‌دلیل سیستم ریشه کم عمق که دارد، حساس‌ترین گونه زراعی به خشکی محسوب‌می‌شود. تنش خشکی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی درگیر در تشکیل و رشد غده تأثیر منفی می‌گذارد (Minhas, 2012).

پیشینه پژوهش

رشد سیب‌زمینی و عملکرد غده تا حد زیادی به بارندگی بستگی دارد، در نتیجه، حتی یک دوره کوتاه کمبود آب می‌تواند باعث از دست دادن قابل توجه عملکرد غده و کاهش کیفیت غده شود (Deblonde and Ledent, 2001). با این حال، میزان کاهش عملکرد غده ناشی از خشکسالی تا حد زیادی به‌مدت، شدت و مرحله رشد گیاه بستگی دارد (Evers *et al.*, 2010). تنش اولیه به‌دلیل کاهش سطح برگ، کاهش نرخ فتوسنتز و کاهش تقسیم مواد جذب شده به غده‌ها، بیشترین ضرر را برای غده سازی، حجیم شدن و عملکرد غده دارد (Obidiegwu *et al.*, 2015). اگر خشکسالی در مراحل اولیه رشد رخ دهد، به‌طور قابل توجهی شروع، حجیم شدن و عملکرد غده را کاهش می‌دهد. تنش خشکی در زمان غده‌دهی باعث کاهش تعداد استولون در ساقه و کاهش تعداد غده و عملکرد آن می‌شود. اگر سیب‌زمینی در مرحله حجیم شدن غده دچار خشکی شوند، غده کوچک‌تر تولید خواهند کرد. با این وجود، پیشنهاد شده‌است که شروع استولون و تشکیل غده بحرانی‌ترین مراحل برای تنش خشکی هستند.

خشکی ممکن است با تأثیر بر رشد رویشی مانند ارتفاع بوته، تعداد و اندازه برگ‌ها یا با تأثیر بر فتوسنتز برگ با کاهش کلروفیل، شاخص سطح برگ یا کاهش طول مدت سطح برگ‌بر عملکرد سیب‌زمینی تأثیر بگذارد. علاوه بر رشد رویشی، خشکی ممکن است با کوتاه‌کردن چرخه رشد یا با کاهش اندازه و تعداد غده‌ها تولید شده توسط گیاهان، بر مرحله زایشی سیب‌زمینی تأثیر بگذارد. علاوه بر این، خشکسالی ممکن است بر کیفیت غده‌های تولید شده نیز تأثیر بگذارد. بنابراین تنش خشکی روی سیب‌زمینی را می‌توان در اثر تنش خشکی بر قسمت‌های سطح زمین و عملکرد دسته‌بندی کرد. علاوه بر کاهش میزان تولید اقتصادی سیب‌زمینی تحت تنش خشکی، سایر صفات نیز تحت این تنش در سیب‌زمینی قرار می‌گیرند.

وزن مخصوص عامل مهمی برای حفظ کیفیت غده است و به‌طور مستقیم با محتوای ماده خشک مرتبط است. سیب‌زمینی با وزن مخصوص بالا برای پخت، سرخ کردن و خرد کردن مناسب‌تر است (Haase, 2003; Pedreschi and Moyano, 2005). تولیدکنندگان محصولات سیب‌زمینی غده‌هایی با وزن مخصوص بالاتر را نسبت به سیب زمینی‌هایی با وزن مخصوص پایین‌تر برای به‌دست آوردن چیپس بیشتر ترجیح می‌دهند (Haase, 2003). براساس مطالعه‌ای که Zhang و همکاران در سال ۲۰۲۴ انجام داد، خشکی باعث کاهش ماده خشک سیب‌زمینی می‌شود. همچنین وزن مخصوص عامل مهمی برای حفظ کیفیت غده است و به‌طور مستقیم با محتوای ماده خشک مرتبط است. با وجود ارتباط مستقیم بین وزن مخصوص و محتوای ماده خشک متعاقباً تحت تنش خشکی هر دو صفت کاهش پیدا می کند (Nasir and Toth, 2022).

به‌منظور حفظ تولید پایدار سیب‌زمینی، لازم است ارقام سیب‌زمینی مقاوم به تنش را که به‌طور مناسب برای تغییر محیط مهندسی‌شده‌اند، توسعه داد. با این حال، فقدان داده‌ها در مورد مسیرهای اساسی تحمل گیاه سیب‌زمینی به تنش‌های غیر زیستی و زیستی و توانایی پیش‌بینی پیامدهای آینده، شکاف دانشی بزرگی را تشکیل می‌دهد. این یک چالش برای دانشمندان گیاه‌شناس است که ابزارهای بهبود عملکرد غده تحت افزایش کربن‌دی‌اکسید، دمای بالا و تنش خشکی را مشخص کنند (Dahal *et al.*, 2014). درک فرآیندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی مرتبط با تنش برای توسعه روش‌های غربالگری برای انتخاب ارقام زراعی که بهتر می‌توانند با شرایط تغییر رشد سازگار شوند، بسیار مهم است. توضیح چنین سازوکاری ممکن است بینش‌های جدیدی در شناسایی ویژگی‌های خاص ارائه دهد که ممکن است در اصلاح ارقام جدید با هدف حفظ یا حتی افزایش عملکرد سیب‌زمینی تحت شرایط آب و هوایی در حال تغییر مفید باشد. هدف این مطالعه بررسی صفات مربوط به عملکرد تحت شرایط نرمال و خشکی، بررسی همبستگی بین صفات مرتبط با عملکرد و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد پایدار در شرایط تنش خشکی است.

روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق به‌صورت آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۹ در کرج (طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۷۵ دقیقه شرقی، طول جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی با میانگین بارندگی طولانی مدت ۲۴۳ میلی‌متر) انجام شد. عامل اول شامل تیمار آبیاری در دو سطح (تنش و شاهد)، عامل دوم شامل ۱۱ ژنوتیپ سیب‌زمینی (آگریا، سزار، ساوالان، سانته، مارفونا، می‌لوا، پیکاسو، هرمس، جلی، (۱–۸۱ و ۲–۶۹) بود. هر کرت شامل چهار خط به طول چهار متر بود که فاصله بین خطوط و روی خطوط به‌ترتیب ۷۵ و ۲۵ سانتی‌متر (۱۶ غده (گیاه) در هر خط) بود. آبیاری به‌صورت قطره‌ای در شرایط معمول و در دوره رشدی سیب‌زمینی به مدت ۱۲۰ روز در شرایط نرمال انجام شد و برای تیمار تنش آبیاری، در مراحل غده‌زایی بین زمان ۵۰ تا ۷۵ روز بعد از کشت برای القای تنش آبی متوقف شد، در حالی که تیمار شاهد معمولاً آبیاری می‌شد. این زمان متناسب با ۲۵ روز بعد از غده‌زایی بوده‌است که قطع آبیاری تا این زمان انجام شده‌است و آبیاری مجدد تا ۴۵ روز بعد از تنش خشکی ادامه یافت. تنش آبیاری، با رسیدن به رطوبت خاک به ظرفیت زراعی ۵۰ درصد از آغاز شد. ردیف‌های مجاور و اولین و آخرین بوته‌های خطوط مرکزی در هر کرت حاشیه‌ای در نظر گرفته و برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در طول دوره رشد، بررسی شد. همچنین ۲۵۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌صورت اوره، ۳۹۵ کیلوگرم در هکتار پتاسیم‌اکسید[1] و ۸۸ کیلوگرم در هکتار پتاسیم‌اکسیدفسفر[2] استفاده شد.

ژنوتیپ‌ها

آگریا (متوسط دیرس)، سزار (متوسط زودرس)، پیکاسو (متوسط دیررس)، جلی (متوسط دیررس)، هرمس (متوسط

1. K_2O
2. P_2O_5

زودرس) سانته (متوسط دیررس)، مارفونا (متوسط زودرس)، مـی‌لـوا (متوسط دیررس) (Europlant and PotatoVarieties Database and Canadian Food Inspection Agency, 2007)، سـاوالان (متوسط زودرس) و دو کلون پیشرفته بـه نـام‌هـای ۱-۸۱ و ۲-۶۹ (متوسط دیررس) از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهـال و بذر ایران تهیه شدند.

ارزیابی صفات

شش گیاه از ژنوتیپ یکسان در هر شرایط و هـر تیمـار بـا سه تکرار وجود داشت. در ۱۲۰ روز بعد از کشـت و اتمـام دوره رشدی، زمانی‌که همه اندام هوایی خشک نشـده‌انـد، عملکرد بیولوژیکی و بررسی قطر غده‌ها انجـام شـد. وزن غده تازه برای هر شرایط انـدازه‌گیـری شـد و تعـداد کـل غده‌ها شمارش شد. غده‌های خـوراکی (قطـر بـیش از ۵۵ میلی‌متر) شمارش و وزن شدند. میانگین عملکرد غده همه گیاهان در هر متر مربع از ردیـف‌هـای میـانی هـر کـرت (غده‌های که بیش از ۳۰ میلی‌متر قطر داشتند) بـه‌صـورت کیلوگرم در هکتار گزارش شد. غده بذری در حدود ۳۵ تـا ۵۵ میلی‌متر و غده خوراکی بالاتر از ۵۵ میلی‌متر می‌باشد.

به‌منظور تعیین درصد ماده خشک غـده، از غـده‌هـای برداشت‌شده از هر کرت مقدار ۳۰۰ گـرم غـده بـه‌صـورت تصادفی انتخاب و با استفاده از کـارد بـه قطعـات مکعـب شکلی به‌اندازه تقریبی یک سانتی‌متر مکعب بریده شـده و به‌مدت ۴۸ ساعت ر داخل آون تنظیم شـده در دمـای ۷۵ درجه سلسیوس تا تثبیت وزن آن‌ها خشکانده شـد مجـدداً توزین گردید. از طریق تقسیم کردن وزن خشک به وزن‌تر غده‌ها، درصد ماده خشک غده محاسـبه گردیـد. عملکـرد بیولوژیکی از رابطه (۱) تعیین می‌شود.

رابطه ۱) = عملکرد بیولوژیکی

عملکرد کل غده + عملکرد کل شاخساره

برای اندازه‌گیری وزن مخصوص ابتـدا حـدود ۳ تـا ۵ کیلوگرم سیب‌زمینی از هر کلون در داخل بسته‌های توری پلاستیکی دقیقاً تـوزین کـرده و سـپس همـان بسـته بـا استفاده از تراوزی خاص در داخـل آب تـوزین مـی‌شـود و وزن مخصوص آن از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

رابطه ۲) = وزن مخصوص

(وزن غده در آب- وزن غده در هوا) / وزن غده در هوا

تجزیه و تحلیل داده‌ها

عملکرد غده، اجزای عملکرد و صفات مورفولـوژیکی هـر دو تیمار آبیاری معمـول و تحـت تـنش رطـوبتی بـا اسـتفاده از نرم‌افزار آماری ۱۷ Minitab آنالیز شدند. داده‌های پارامترهای تنش خشکی و همبسـتگی بـین صـفات مختلـف تجزیـه و تحلیل PCA با استفاده از بسته نرم افـزاری R Factoextra انجام شد. برای بررسی رابطه بین متغیرها با کمک نـرم‌افـزار ggbiplot از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. مقایسه میانگین براساس دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ بود.

یافته‌های پژوهش

نتایج جدول تجزیه واریانس برای ۱۱ ژنوتیپ سیب‌زمینـی در محیط مورد آزمایش در کرج انجام شد. تغییرات آمـاری معنی‌داری در عملکـرد کـل، عملکـرد خـوراکی، عملکـرد بذری، تعداد غـده بـین ۳۵ تـا ۵۵ میلـی‌متـر، تعـداد غـده کوچک‌تر از ۳۵ میلی‌متر، تعداد غده بزرگ‌تـر از ۵۵ میلـی متر، عملکرد بیولوژیکی، درصد ماده خشک، تعداد کل غده و وزن مخصوص مشاهده شد (جـدول ۱). مطـابق جـدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی ژنوتیپ، خشکی و اثر متقابل ژنوتیپ × خشکی بر روی تمامی صفات فوق‌الذکر تفـاوت معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) نشان داد.

نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد کل، عملکرد خوراکی، عملکرد بذری، تعداد غده بین ۳۵ تا ۵۵ میلـی‌متـر، تعداد غده کوچک‌تر از ۳۵ میلی‌متر، تعداد غده بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر، عملکرد بیولوژیکی، درصد ماده خشک، تعـداد کـل غده به‌غیر از وزن مخصوص در سـطح یـک درصـد تفـاوت معنی‌دار داشتند. اثر اصلی تیمار آبیاری بر عملکـرد در سـطح یک درصد بر صفات مرتبط با عملکرد و عملکرد بیولوژیکی و وزن مخصوص بسیار معنی‌دار بود. اما در درصد ماده خشـک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ از نظر صفات مرتبط با عملکرد، عملکرد بیولـوژیکی، درصد ماده خشک به‌جز وزن مخصوص در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱. آنالیز تجزیه واریانس صفات عملکرد کل، عملکرد خوراکی، عملکرد بذری، تعداد غده با ۳۵–۵۵ میلی‌متر، تعداد غده کوچک تر از ۳۵ میلی‌متر، تعداد غده بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر، عملکرد بیولوژیکی، درصد ماده خشک، تعداد کل غده و وزن مخصوص در سیب زمینی تحت تنش خشکی.

Table 1. Analysis of variance for traits including total yield, edible yield, seed yield, number of tubers between 35-55 mm, number of tubers smaller than 35 mm, number of tubers larger than 55 mm, biological yield, dry matter percentage, total tuber number, and specific gravity in potato under water stress conditions.

S.O.V منابع تغییرات		df	Tuber with 35 mm diameter	Tuber with 35-55 mm diameter -mm	Tuber with 55 mm diameter	Seed yield (kg ha^{-1})	Ware yield (kg ha^{-1})	TN (unit)	Total yield (kg ha^{-1})	BY (%)	Dry matter (g/kg)	SG (g/cm^3)
G	ژنوتیپ	10	32272**	160.06**	20.26**	0.401**	0.114**	67041**	135.85**	456.20**	24.430**	0.0008^{ns}
T	تیمار	1	108122**	2815.72**	475.60**	7.04**	2.675**	826414**	6840.55**	165.34**	6.124^{ns}	0.092**
R	تکرار	2	929	18.59	0.106	0.046	0.0006	857	1.28	0.47	2.149	0.0004
G×T	ژنوتیپ × خشکی	10	37783**	455.06**	41.72**	1.137**	0.235**	140986 **	190.96**	1017.32**	16.378**	0.0008^{ns}
Error	خطا	41	954	31.63	0.525	0.079	0.003	2653	1.78	31.10	2.127	0.0006
CV%	ضریب تغییرات		10.2	9.1	6.08	27.87	8.89	6.42	18.90	32.21	19.91	2.06

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد. ns, * and **: respectively, non-significant and significant at the 0.05 and 0.01 levels.

با توجه به نتایج حاصل از آزمایش، اثر متقابل ژنوتیپ و شرایط نرمال نشان داد که در شرایط نرمال ژنوتیپ سزار به‌ترتیب بیشترین عملکرد کل، عملکرد خوراکی، عملکرد بذری، تعداد غده بین ۳۵–۵۵ میلی‌متر، تعداد غده کوچک‌تر از ۳۵ میلی‌متر، تعداد غده بزرگ‌تر از ۵۵ میلی متر، عملکرد بیولوژیکی، تعداد کل غده به‌ترتیب با (۵۴/۳۴ کیلوگرم در مترمربع)، (۱/۶۷ کیلوگرم در مترمربع) و (۲/۹۶ کیلوگرم در مترمربع)، (۵۹/۲۶ کیلوگرم در مترمربع)، (۵۸۳ کیلوگرم در مترمربع)، (۲۳/۳۳ کیلوگرم در مترمربع)، (۸۲/۵ کیلوگرم در مترمربع)، (۱۲۱۵/۴۳ کیلوگرم در مترمربع) را داشت. همچنین مارفونا بالاترین درصد ماده خشک را با میزان ۲۱/۸۸ سانتی‌متر نشان داد. کمترین تعداد غده بین ۵۵–۳۵ میلی‌متر، عملکرد بذری و تعداد کل غده مربوط به ژنوتیپ هرمس به‌ترتیب (۱۷/۰۲ کیلوگرم در مترمربع)، (۰/۸۵ کیلوگرم در مترمربع) و (۳۸۱/۶۲ کیلوگرم در متر مربع) و کمترین غده کوچک‌تر از ۳۵ میلی‌متر (۷۵/۰۱ کیلوگرم در مترمربع) مربوط به ژنوتیپ جلی بود (جدول ۲). همچنین کمترین عملکرد خوراکی، تعداد غده بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر و عملکرد کل به‌ترتیب (۱۶/۸۳ کیلوگرم)، (۶/۸۳ کیلوگرم) و (۲۰/۱۵ کیلوگرم در متر مربع) برای ژنوتیپ مارفونا بود. بر اساس شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ هرمس با (۲۴۷/۳۳ کیلوگرم در مترمربع)، (۱/۷ کیلوگرم در مترمربع)، (۵۶۵/۳ کیلوگرم در مترمربع)، (۱۱/۸۸ کیلوگرم در مترمربع) و (۶۲/۸۲ کیلوگرم در مترمربع) به‌ترتیب بیشترین تعداد غده بین ۳۵–۵۵ میلی‌متر، وزن بذری، تعداد کل غده، عملکرد کل و عملکرد بیولوژیک را داشت. بیشترین عملکرد خوراکی و تعداد غده بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ ۲–۶۹ (۰/۷۷ کیلوگرم در مترمربع) و (۱۰/۳۹ کیلوگرم در مترمربع) بود. میزان تعداد غده، عملکرد کل، عملکرد بیولوژیک و وزن مخصوص در شرایط تنش به ترتیب به میزان ۲۳ درصد، ۵۴ درصد، ۴ و ۳ درصد کاهش میزان مشاهده شد. در حالی‌که تفاوت معنی‌داری در میزان ماده خشک در شرایط نرمال و تنش مشاهده نشد.

ارقام هرمس و ۲–۶۹ برای تعداد کل غده، وزن بذری و خوراکی، تعداد غده بین ۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر، و تعداد غده بزرگ‌تر از ۵۵ بیشتری نسبت به سایر ارقام نشان دادند. غده بسیار کوچک زمانی به‌دست آمد که از غده‌های بذری با اندازه کوچک‌تر به‌عنوان مواد کاشت استفاده شد. استفاده از غده‌های کوچک به‌عنوان ماده کاشت، عملکرد

غده‌های بسیار کوچک را به‌ترتیب ۳۹/۳۶ و ۵۶/۳۸ درصد نسبت به غده‌های بذری با اندازه متوسط و بزرگ افزایش داد (Asnake *et al.*, 2023). این واقعیت که غده‌های کوچک دارای تعداد چشم کمتر و حداقل مواد غذایی ذخیره شده هستند. از رشد رویشی کمتری برخوردارند و در نتیجه غده‌های سیب‌زمینی با اندازه بسیار کوچک تولید می‌کند. نتایج مشابه همچنین نشان داد که گیاهانی که از غده‌های بذری با اندازه کوچک به‌دست می‌آیند تعداد چشم‌های کمی تولید می‌کنند و رشد رویشی را کاهش می‌دهند. انواع سیب‌زمینی از نظر ظرفیت تولید متفاوت هستند که با ترکیب ژنتیکی آنها مرتبط است (Saidi and Hajibarat, 2018, Tessema *et al.*, 2020). برای به دست آوردن اطلاعات کامل، ارزیابی تحمل به خشکی در شرایط مزرعه ضروری است. چندین مطالعه اثرات تنش خشکی بر غده‌زایی را مستند کرده‌اند (Hirut *et al.*, 2017; Hajibarat and Saidi, 2023). تفاوت در عملکرد غده با اندازه بسیار کوچک می‌تواند با ویژگی‌های ذاتی گونه‌های سیب‌زمینی مرتبط باشد. با توجه به گزارش Binalfew *et al.* (2015) اندازه غده سیب‌زمینی یک ویژگی کمی است. غده‌های بسیار کوچک معمولاً ارزش بازار پسندی پایینی دارند. استفاده از اندازه‌های مختلف غده بذری به‌عنوان ماده کاشت تأثیر قابل توجهی بر عملکرد غده با اندازه بسیار کوچک داشت. با توجه به نتایج سایر محققان این احتمال وجود دارد که افزایش عملکرد در هرمس و ۶۹-۲ در مقایسه با سایر ارقام دیگر آن است که به‌دلیل حداکثر شاخص سطح برگ را دارا می‌باشند. نتایج مطالعه‌ای بر روی حداکثر شاخص سطح برگ در رقم مانیتو، کاروسو و فالوکا در مقایسه با آگریا و با نبا به طور معنی‌داری بیشتر بود (Zaki and Radwan, 2022). براساس مطالعه‌ای، در ارقام دیررس تأخیر در غده‌زایی، با افزایش میزان تولید غده‌های بذری همراه خواهد بود و د ر گروه ارقام زودرس با تسریع در غده‌زایی بر عملکرد سایز بذری افزوده می‌شود (Parvizi, 2008). در گروه آزمایشی زودرس، زمان پوشش کامل با زمان غده‌زایی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشته است. اما در ارقام دیررس بین این دو صفت همبستگی معنی‌دار وجود نداشته‌است. بدین مفهوم که در ارقام زودرس تسریع در غده‌زایی، دوره رسیدن به پوشش کامل را کوتاه می‌کند .زمان رسیدن به غده‌زایی با میزان عملکرد کل در ارقام دیررس رابطه مثبت و معنی‌دار داشت. با این وصف در گروه آزمایشی دیررس تأخیر در غده‌زایی، پتانسیل عملکرد کل را افزایش می‌دهد (Parvizi, 2008).

وزن مخصوص و درصد ماده خشک و تعداد غده کمتر از ۳۵ میلی‌متر به‌ترتیب به ژنوتیپ سانته (۱/۰۷)، ۱-۸۱، (۲۸/۹۳) و آگریا (۲۸۲/۶۶) متعلق بود. ژنوتیپ پیکاسو در شرایط نرمال کمترین درصد ماده خشک (۱۶) و وزن مخصوص (۱/۰۶۶) را داشت. همچنین پایین‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک مربوط به ژنوتیپ ۸۱/۱ بود.

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی در بررسی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در شرایط نرمال.

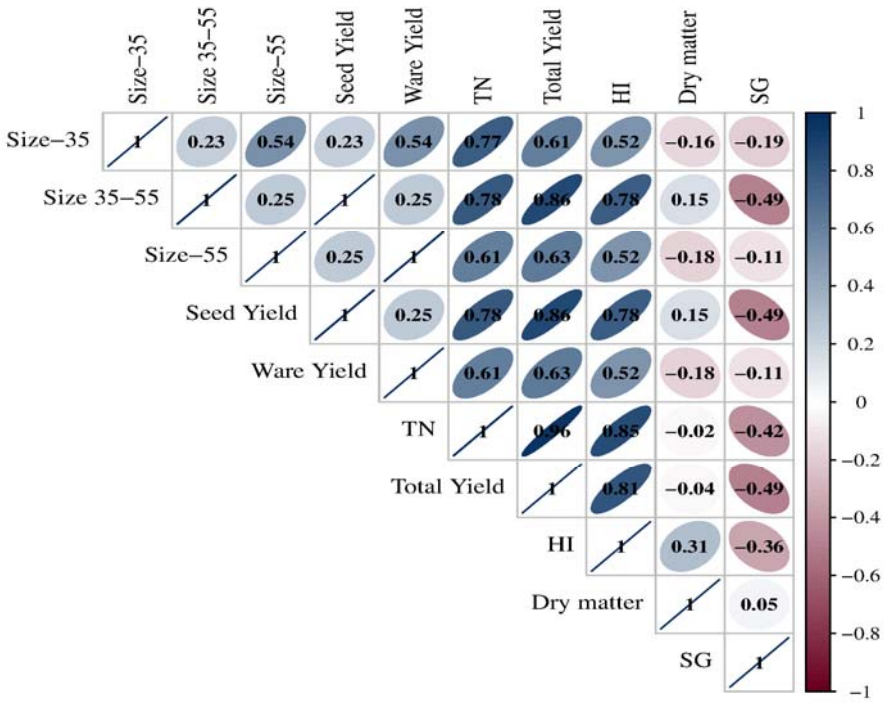
Table 2. Comparison of the mean traits evaluated in the study of potato genotypes under normal conditions.

Irrigation treatment	Genotype	Tuber with 35 mm diameter	Tuber with 35-55 mm diameter	Tuber with 55 mm diameter	Seed yield (kg ha^{-1})	Ware yield (kg ha^{-1})	TN (unit)	Total yield (kg ha^{-1})	BY (%)	Dry matter (g/kg	SG (g/cm^3)
نرمال Control	Milva	176.98^{ef}	38.47^{cd}	8.54^{e}	1.92^{cd}	0.64^{e}	541.43^{c-e}	28.05^{d}	31.08^{f-i}	19.75^{b-h}	1.082^{a}
	Hermes	167.9^{eg}	17.02^{hi}	10.54^{cd}	0.85^{hi}	0.79^{cd}	381.62^{ij}	20.65^{g}	26.49^{h-k}	21.16^{b-d}	1.089^{a}
	81-1	163.4^{eg}	23.93^{f-h}	10.87^{cd}	1.19^{f-h}	0.815^{cd}	433.20^{g-i}	21.17^{fg}	25.39^{h-k}	20.67^{b-f}	1.087^{a}
	Jelly	75.08^{j}	33.24^{c-e}	14.62^{b}	1.66^{c-e}	1.096^{b}	446.06^{e-i}	37.49^{b}	30.81^{f-i}	16.64^{jk}	1.067^{a}
	Agria	257.05^{c}	35.56^{c-e}	10.66^{cd}	1.77^{cde}	0.80^{cd}	615.32^{c}	31.46^{c}	37.38^{e-g}	18.45^{f-j}	1.075^{a}
	Casare	583.0^{a}	59.26^{a}	22.33^{a}	2.96^{a}	1.67^{a}	1215.43^{a}	54.34^{a}	82.5^{a}	18.13^{g-k}	1.073^{a}
	Santé	240.2^{cd}	30.29^{c-f}	10.42^{d}	1.51^{c-f}	0.78^{d}	555.76^{c-e}	24.96^{e}	32.126^{f-h}	20.399^{b-g}	1.083^{a}
	Savalan	174.01^{eg}	27.24^{e-g}	11.69^{c}	1.36^{e-g}	0.87^{c}	475.79^{e-h}	24.56^{e}	29.43^{g-i}	20.94^{b-e}	1.088^{a}
	69-2	204.58^{de}	27.43^{e-g}	10.59^{cd}	1.37^{e-g}	0.79^{cd}	499.28^{d-g}	22.97^{ef}	27.52^{h-j}	21.53^{bc}	1.09^{a}
	Picasso	413.10^{b}	47.80^{b}	10.50^{cd}	2.39^{b}	0.787^{cd}	865.00^{b}	35.39^{b}	50.58^{cd}	16.00^{k}	1.066^{a}
	Marfona	164.3^{eg}	38.98^{bc}	6.83^{f}	1.94^{bc}	0.51^{f}	519.40^{d-f}	20.15^{g}	31.62^{f-h}	21.88^{b}	1.096^{a}

در این تحقیق وزن مخصوص به‌طور قابل توجهی در بسیاری از ارقام مورد ارزیابی کاهش یافت. رقم‌های سانته، جلی، ۸۱-۱، می‌لوا، پیکاسو و مارفونا درصد ماده خشک بیشتر از شرایط نرمال نشان دادند و تحت تنش خشکی، عملکرد بیولوژیک در هرمس، ۱-۸۱ و مارفونا بیشترین مقدار را داشتند. این نتایج نشان‌می‌دهد که ارقام هرمس و ۲-۶۹ دارای شاخص تحمل به تنش بالاتر در مزرعه در مقایسه با شرایط نرمال دارند. کلون هرمس به‌لحاظ عملکرد کل، عملکرد بذری، تعداد غده بالاتر از ۵۵ میلی‌متر، عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی برتر از سایر ارقام بودند و کلون ۲-۶۹ براساس عملکرد کل، عملکرد خوراکی و تعداد غده بالاتر از ۵۵ میلی‌متر به‌عنوان ارقام متحمل‌تر شناسایی شدند. بر اساس وزن مخصوص، ژنوتیپ مارفونا در شرایط نرمال بیشترین میزان (۱/۰۹۶) را به خود اختصاص داد. میزان ماده خشک غده‌ها در ارقام مختلف سیب‌زمینی یکی از فاکتورهای مهم در تعیین کیفیت غده‌ها به‌ویژه در صنایع فرآوری و تهیه چیپس، خلال و پوره می‌باشد (Parvizi, 2008). مطالعه دیگر نشان داد که درصد ماده خشک بین ارقام سیب‌زمینی تقریباً یکسان است در حالی‌که در برخی از ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده شده است (Fozouni and Aboutalebian, 2020).

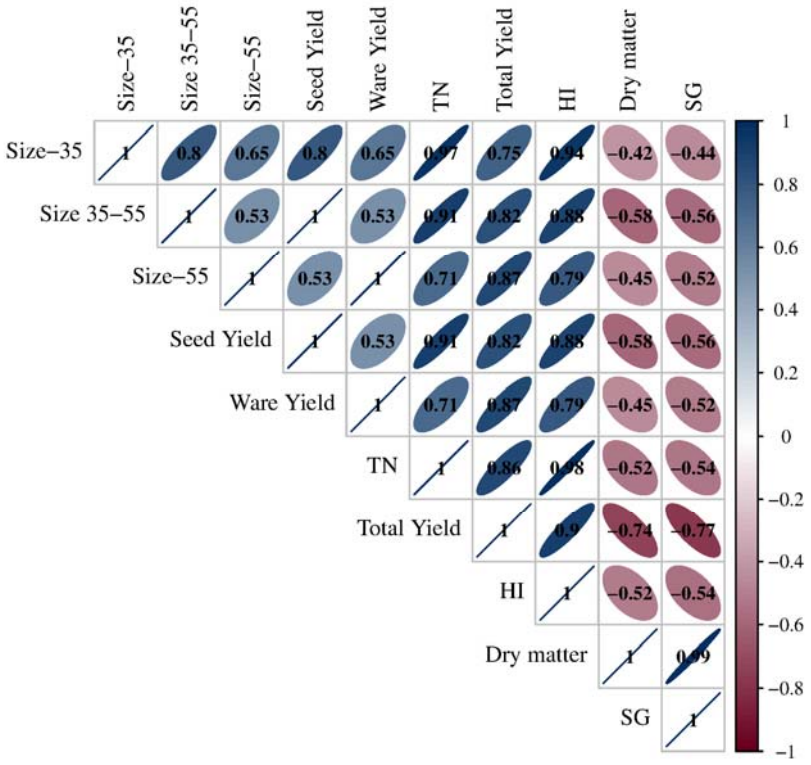
همبستگی صفات عملکرد و صفات مورفولوژیکی

آنالیز همبستگی بین صفات عملکردی و مورفولوژیکی در شرایط نرمال و تنش خشکی می‌تواند معیار خوبی برای غربالگری بهترین ارقام و صفات مورد استفاده باشد. همچنین بررسی ضرایب همبستگی بین صفات باعث می‌شود تا بتوان در مورد شاخص‌های انتخاب غیر مستقیم و حذف صفات غیر مؤثر تصمیم‌گیری بهتری داشت. همبستگی بالای بین صفات می‌تواند حاکی از وجود پیوستگی ژنی یا ژن‌هایی با آثار چندگانه (پلیوتروپی) باشد. وجود این همبستگی‌ها این امکان را می‌دهند تا بتوان به‌طور غیر مستقیم و با دقت بیشتری عمل انتخاب را انجام داد (Rabiei *et al.*, 2004). همبستگی بین عملکرد غده و صفات فنوتیپ در شکل‌های ۱ و ۲ آورده شده است.



شکل ۱. آنالیز همبستگی بین صفات رشدی و عملکرد تحت شرایط نرمال.

Figure 1. Correlation analysis between growth and performance traits under normal conditions.



شکل ۲. آنالیز همبستگی بین صفات رشدی و عملکرد تحت شرایط خشکی.

Figure 2. Correlation analysis between growth and performance traits under drought conditions.

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد کل و تعداد کل غده، اندازه بذر بین ۵۵–۳۵، عملکرد بذری و عملکرد بیولوژیک در شرایط نرمال وجود دارد و پارامترها می‌توانند نقش مشابهی در انتخاب ژنوتیپ‌ها در این شرایط داشته باشند. در شرایط تنش خشکی، عملکرد کل با وزن خوراکی، وزن بذری، عملکرد بیولوژیک، تعداد کل غده، اندازه بذر ۵۵–۳۵، اندازه بذر کمتر از ۳۵ همبسته بودند. همچنین درصد ماده خشک و وزن مخصوص همبستگی داشتند. تحت شرایط نرمال بین وزن بذری و اندازه غده بین ۵۵–۵۳ میلی‌متر همبستگی کامل (۱) وجود داشت و همچنین بین عملکرد خوراکی و اندازه غده بیش از ۵۵ میلی‌متر نیز همبستگی کامل (۱) وجود داشت.

تحت تنش خشکی بین عملکرد بیولوژیکی و تعداد کل غده و عملکرد کل با عملکرد بذری و اندازه غده بین ۵۵ تا ۳۵ میلی‌متر همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. بین عملکرد بذری و اندازه کمتر از ۳۵ میلی‌متر نیز همبستگی وجود داشت. تحت تنش نرمال همبستگی پایین یا عدم همبستگی بین وزن مخصوص و درصد ماده خشک در ارقام وجود دارد درحالی‌که در شرایط تنش خشکی همبستگی ۰/۹۹ بین درصد ماده خشک و وزن مخصوص مشاهده شد. گزارش شده‌است که وزن مخصوص تحت‌تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار دارد (Soboka *et al.*, 2017). در شرایط تنش و نرمال وزن مخصوص با ابعاد غده و میزان غده همبستگی منفی دارد. ارتباط ابعاد غده با سایر صفات به میزان زیادی تحت‌تأثیر شرایط زراعی محل انجام آزمایش است. به‌نحوی که به عنوان نمونه در شرایطی که ازت بیش از اندازه در تولید سیب‌زمینی استفاده گردد این امر می‌تواند موجب بزرگ شدن و پوکی غده‌ها و به‌نوعی کاهش وزن مخصوص آنها گردد (Laurence *et al.*, 1985) که در آن صورت روابط

بین صفات وابسته به عملکرد سیب‌زمینی و مخصوصاً اندازه غده‌های بزرگ نیز تغییر خواهد کرد. درصد ماده خشک با تمام صفات مرتبط با عملکرد در شرایط تنش نرمال و خشکی همبستگی منفی داشته‌است. یکی از عوامل دیگر در تعیین نوع مصرف سیب‌زمینی درصد ماده خشک می‌باشد که در فرآوری سیب‌زمینی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا با افزایش ماده خشک فرآوری با کیفیت‌تر، زمان پخت کوتاه‌تر، بافت سیب‌زمینی بهتر و همچنین روغن کمتری در صورت استفاده برای چیپس و فرنچ فرایز مصرف می‌شود (Fathi et al., 2010). میزان ماده خشک غده در ارقام مختلف سیب‌زمینی یکی از فاکتورهای مهم در تعیین کیفیت غده‌ها به‌ویژه در صنایع فرآوری، چیپس و فرنچ فرایز دارد (Fathi *et al.*, 2010). اگر یک عامل معینی مقدار کل ماده خشک را بیشتر از وزن کل غده افزایش دهد، درصد ماده خشک افزایش خواهد یافت. عموماً عواملی که رشد شاخ و برگ را تحریک می‌کنند، درصد ماده خشک را کاهش می‌دهند و عواملی که رشد غده را تحریک می‌کنند، درصد ماده خشک را افزایش می‌دهند (Rezaie and Soltani, 2004).

نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه دیگر بر روی اجزای عملکرد سیب‌زمینی مطابقت داشت (Boguszewska-Mankowska et al., 2022). همچنین بین صفات عملکرد بذری و تعداد کل غده و اندازه غده در گندم، ذرت و برنج همبستگی داشت که می‌تواند به‌عنوان پارامتر انتخابی برای گزینش استفاده شود (Beiragi *et al.*, 2011; Hassan *et al.*, 2023; Xu *et al.*, 2023). مبتنی بر نتایج آزمایشی بر روی سیب‌زمینی نشان داد که افزایش عملکرد با میزان عملکرد بیولوژیکی همبستگی بالایی در سیب‌زمینی شیرین دارد (Indriani *et al.*, 2021). همبستگی مثبت و معنی داری بین عملکرد غده و شاخص بیولوژیکی وجود داشت. براساس مطالعه‌ای که بر روی سیب‌زمینی انجام شد این همبستگی در مطالعه حاضر مشاهده شد (Zabihi-e-Mahmoodabad *et al.*, 2011). وزن مخصوص غده‌های سیب‌زمینی یک معیار کیفیت مهم برای فرآوری سیب‌زمینی است. از آن به‌عنوان تخمینی از محتوای جامد یا ماده خشک غده‌ها استفاده می‌شود. هر چه مقدار ماده خشک بیشتر باشد، محتوای آب کمتر و وزن مخصوص بالاتر است (Ndungutse *et al.*, 2019). در شرایط تنش خشکی، در این پژوهش وزن مخصوص و ماده خشک ارتباط معنی‌داری ۰/۹۹ مشاهده شد.

تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)

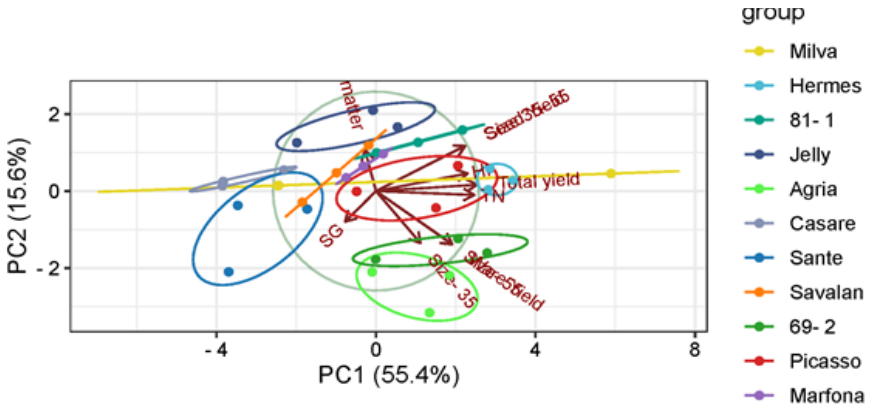
اگرچه آنالیز همبستگی به تعیین صفات مؤثر به‌ترتیب انتخاب غیرمستقیم ژنوتیپ‌های برتر کمک می‌کند، اما از سوی دیگر، تجزیه مؤلفه‌های اصلی تکنیک چند متغیره مناسبی در شناسایی و تعیین مؤلفه‌های اصلی مستقلی است که به‌طور جداگانه بر صفات گیاهی مؤثر هستند. بنابراین، تجزیه مؤلفه‌های اصلی همچنین به اصلاح‌کنندگان برای بهبود ژنتیکی صفاتی مانند عملکرد که وراثت‌پذیری کمی دارند، به‌ویژه در نسل‌های اولیه از طریق انتخاب غیرمستقیم برای صفات مؤثر بر عملکرد کمک می‌کند. با توجه به اینکه تجزیه مولفه‌های اصلی، مولفه‌ها مستقل و غیرهم‌بسته هستند، بنابراین نقش مهمی در شناسایی جنبه‌های مختلف صفات گزینش ارقام در برنامه‌های اصلاح نباتات ایفا می‌کنند (Rahimi *et al.*, 2009). به‌منظور تعیین پراکنش ارقام و انتخاب ارقام برتر به‌همراه صفات مورد مطالعه از تجزیه مولفه های اصلی استفاده شد. تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی صفات عملکردی و مورفولوژیکی برای بررسی کامل عوامل مختلفی که در شاخص‌های خشکی نقش اساسی داشته، انجام گرفت. میزان نرخ سهم تجمعی از تغییرات کلی ۷۱٪ بود. باتوجه به آنالیز PCA توسط ماتریس همبستگی و روش تجزیه وتحلیل بای پلات، مشخص شد که از این پارامترها می‌توان برای ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی به تنش خشکی در محیط‌های مختلف استفاده‌کرد. براساس تجزیه و تحلیل PCA، عملکرد کل با عملکرد بیولوژیک؛ اندازه غده ۳۵–۵۵ میلی‌متر و تعداد کل غده مرتبط هستند و عملکرد خوراکی و اندازه غده بیشتر از ۵۵ میلی‌متر و کمتر از ۳۵ میلی‌متر با هم مرتبط هستند. همچنین براساس نتایج حاصل، هرمس و ۲–۶۹ نیز به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند (شکل ۳). پارامترهای مورفولوژیکی و عملکردی تجزیه و تحلیل شده ۷۱ درصد از تنوع کل را در دو مؤلفه اول توضیح دادند، که در آن ۵۵/۴ درصد تنها با

PC1 توضیح داده‌می‌شود که دلیل آن مشارکت همه پارامترهای عملکرد و مورفولوژیکی است، به‌جز ماده خشک و وزن مخصوص.

شکل ۳ نشان‌می‌دهد که بیشترین تأثیر و تغییر مربوط به صفات عملکرد و مورفولوژیکی می‌باشد و میزان تأثیر ماده خشک و وزن مخصوص در میزان تغییرات به‌مراتب کمتر بوده است. در نتیجه برای انتخاب ارقام برای برنامه اصلاحی باید به صفات عملکردی توجه ویژه‌ای در مقایسه با صفات کیفی مانند وزن مخصوص ماده خشک شود. همچنین محققان گزارش کردند که که درصد ماده خشک یک ژنوتیپ تحت شرایط محیطی مختلف تغییر می‌نماید، بنابراین درصد ماده خشک برای یک رقم خاص در شرایط اقلیمی متفاوت ثابت نمی‌مانند (Mousapour, 2005). از این نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای مهم در نظر گرفته‌شده در تحقیق حاضر با توجه به صفات زراعی عبارتند از: عملکرد غده، عملکرد بذری، عملکرد بیولوژیکی. این متغیرهای فوق ممکن است برای انتخاب مؤثر والدین در طول برنامه هیبریداسیون برای گسترش پایه ژنتیکی در جمعیت و همچنین برای ایجاد لاین‌های برتر در نظر گرفته شوند. علاوه بر این، انتخاب ژنوتیپ‌های دارای بیشترین میزان عملکرد غده و آن اجزا باید به‌عنوان یکی از بهترین استراتژی‌های اصلاحی برای بهبود ژنتیکی عملکرد غده در سیب‌زمینی توصیه شود. این نتایج توسط بسیاری از محققان تأکید شده‌است (Sattar *et al.*, 2011; Ahmadizadeh and Felenji, 2011; Lohani *et al.*, 2012; Xu *et al.*, 2023).

تجزیه کلاستر

دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward برای ارقام سیب‌زمینی براساس صفات عملکردی و مورفولوژیک در شکل ۴ آورده شده‌است. بر اساس آنالیز تجزیه کلاس‌تر ۱۱ رقم به چهار گروه تقسیم شدند که گروه اول شامل هرمس، ۶۹-۲ ، ۱-۸۱، سانته و ساوالان در یک خوشه قرار گرفتند. گروه ۲ شامل مارفونا و می‌لوا بوده و گروه سوم شامل پیکاسو، آگریا و جلی می‌باشد و سزار نیز در گروه جداگانه قرار گرفت که گروه چهارم محسوب شد (شکل ۴). نتایج حاصل از تجزیه مولفه اصلی و تجزیه خوشه‌ای نشان داد که ارقام متحمل و حساس در تنش خشکی با الگوی مشابهی در یک گروه قرار گرفتند. در گروه اول هرمس، ۶۹-۲ که با ژنوتیپ سانته که متحمل خشکی است در یک گروه قرار گرفته‌اند. براساس نتایج مطالعه‌ای که بر روی تنش خشکی سیب‌زمینی در ارقام سانته و آگریا به عنوان رقم متحمل و حساس به خشکی به‌ترتیب انجام شد، مشاهده شد که بیان ژن‌های افزایش یافته در مسیرهای سیگنالینگ تحمل به خشکی در رقم سانته بیش از رقم حساس در آگریا بوده‌است (Aksoy *et al.*, 2024). مطالعه دیگر نشان داد که آگریا ژنوتیپی حساس به خشکی می‌باشد. در عین حال این رقم دارای عملکرد بالا در شرایط نرمال می‌باشد (Hassanpanah, 2010). این نتایج به انتخاب غیر مستقیم ارقام در محیط‌های مختلف کمک می‌کند.



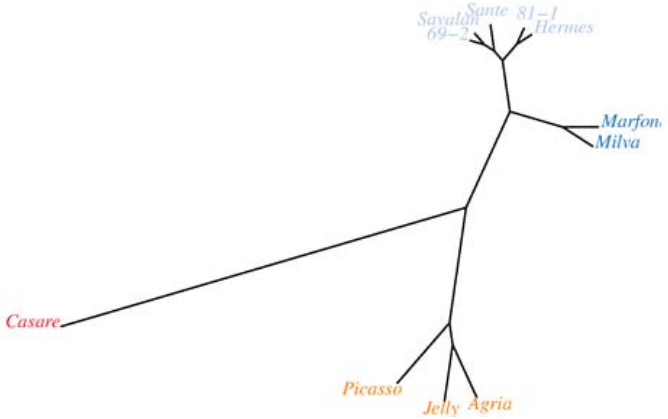
شکل ۳. آنالیز تجزیه مولفه‌های اصلی برای ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی و صفات رشدی و عملکردی.

Figure 3. Principal component analysis for potato genotypes and growth and performance traits.

براساس آنالیز تجزیه خوشه‌ای ارقامی که به‌لحاظ قرابت ژنتیکی مشابه هستند در یک گروه قرار می‌گیرند و آنهایی در گروه‌های دورتر و جداگانه قرار می‌گیرند بیشترین تفاوت به‌لحاظ ژنتیکی را دارا هستند. در نتیجه از ارقام دورتر برای برنامه دو رگ‌گیری نیز استفاده می‌شود. در این پژوهش ارقام هرمس و ۲-۶۹، ۱-۸۱، ساوالان و سانته در یک گروه قرار گرفته که سانته و ساوالان در مطالعات مختلف به‌عنوان ارقام متحمل به خشکی معرفی شدند با ارقام پیکاسو، جلی و آگریا فاصله ژنتیکی زیادی دارند. در نتیجه از این گروه‌های در برنامه تلاقی و هتروزیس می‌توان استفاده‌کرد. همچنین در بین صفات عملکردی در شرایط تنش خشکی رقم هرمس و ۲-۶۹ بالاترین مقدار در میزان عملکرد غده و بذری به خود اختصاص دادند درحالی‌که رقم جلی پایین‌ترین میزان تعداد غده را دارا بود. این نتایج حاکی از آن است که آنالیز فیلوژنتیکی و تجزیه مولفه‌های اصلی به‌خوبی توانسته تفاوت بین ارقام را شناسایی کند.

براساس نتایج مطالعه حاضر رقم هرمس و ۲-۶۹ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند که تحت تنش خشکی عملکرد کل و بیولوژیکی بالاتری داشتند. همچنین از تعداد غده بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر بیشتری نیز برخوردار بودند که بازار پسندی این دو رقم تحت تنش خشکی نیز بیشتر خواهد بود. از آنجایی که کشت سیب زمینی به مناطق محدود آب در حال گسترش است و تغییرات آب و هوایی در طول سال‌های اخیر قابل مشاهده است. پیش بینی می‌شود در طول تنش خشکی کیفیت غده به‌شدت تحت خشکسالی قرار گیرد، بدین دلیل درک مسیرهای دقیق تحمل به خشکی در سطوح مولکولی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی برای بهبود عملکرد غده ضروری به نظر می‌رسد. PCA تکنیکی است که صفات گیاهی را شناسایی می‌کند که بیشترین نقش را در تنوع مشاهده شده در یک گروه از ژنوتیپ‌ها داشته و کاربرد عملی آن در انتخاب لاین‌های والدینی برای اهداف اصلاحی دارد (Ahmadizadeh and Felenji, 2011). واریانس تجمعی بیش از بیش از ۸۴ درصد توسط دو محور اول با مقادیر ویژه بیش از ۱,۰ نشان داد که صفات شناسایی شده در این محورها تأثیر زیادی بر فنوتیپ ارقام از خود نشان می‌دهند و می‌توان به‌طور مؤثر برای انتخاب بین آنها استفاده‌کرد. Cardi و همکاران (۲۰۰۲) با تجزیه و تحلیل ارقام سیب‌زمینی تتراپلوئید به مؤلفه‌های اصلی، ۱۰ مؤلفه اصلی را با مقدار توجیهی ۹۸,۹ درصد شناسایی کردند.

Tairo و همکاران (۲۰۰۸) همچنین از PCA برای مطالعه تنوع در میان توده‌های بومی تانزانیا استفاده کردند و تنوع ژنتیکی پایینی را در میان آنها یافتند. Lahoni و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده کردند که ۱۱ مولفه اول ۹۶/۲۵ درصد تغییرات را توضیح دادند. حداکثر تغییرات ۱۸/۷۸ درصد با اولین بردار نهفته و سپس ۱۶/۳۴ درصد (بردار دوم) و ۱۳/۳۰ درصد (بردار سوم) توضیح داده شد.



شکل ۴. تجزیه کلاس‌تر ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی تحت تنش خشکی براساس صفات رشدی و عملکردی.

Figure 4. Cluster analysis of potato genotypes under drought stress based on growth and performance traits.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

خشکسالی، عملکرد کل و قابل فروش تمامی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی آزمایش شده را کاهش داد. کلون هرمس به لحاظ عملکرد کل، عملکرد بذری، تعداد غده بالاتر از ۵۵ میلی‌متر، عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی برتر از سایر ارقام بودند و کلون ۲-۶۹ براساس عملکرد کل، عملکرد خوراکی و تعداد غده بالاتر از ۵۵ میلی‌متر به‌عنوان ارقام متحمل‌تر شناسایی شدند (جدول ۳). کلون‌های هرمس و ۲-۶۹ کاهش عملکرد کمتر و شاخص حساسیت به خشکی کمتری را در شرایط خشکی نشان دادند، اما برای تأیید این نتیجه آزمایش‌های بیشتری برای ارزیابی پاسخ فیزیولوژیکی این ژنوتیپ‌ها به شرایط مختلف آب، خاک و اقلیمی مورد نیاز است. براساس مطالعه حاضر، آنالیز PCA و کلاس‌تر تحت تنش خشکی انجام شد و ارقام هرمس و ۲-۶۹ به‌عنوان متحمل‌ترین براساس عملکرد بالاتر و صفات مورفولوژیکی بهتر در شرایط تنش خشکی انتخاب شدند. انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل بر اساس ترکیبی از شاخص‌های مورفولوژیکی و عملکردی می‌تواند معیارهای مفیدی برای اصلاح ژنتیکی انواع ارقام سیب‌زمینی متحمل به خشکی فراهم کند. نتایج تجزیه کلاس‌تر و تجزیه و تحلیل PCA تقریباً مشابه بوده و ژنوتیپ‌های هرمس و ۲-۶۹ در یک گروه قرار گرفتند و می توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل معرفی شوند. نتایج این دو برای تایید ساختار جمعیت و همچنین تنوع ژنتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، از بررسی فوق می‌توان نتیجه گرفت که تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در ارقام سیب‌زمینی، شناسایی صفات مطلوب و ارتباط آنها با عملکرد و طبقه‌بندی مطمئن ژنوتیپ‌ها را تسهیل می‌کند. تغییرات نسبتاً بیشتری در صفاتی که روی مؤلفه اول قرار داشتند مشهود بود. متغیرهای فوق ممکن است برای انتخاب مؤثر والدین در طول برنامه هیبریداسیون در نظر گرفته شوند. یک برنامه هیبریداسیون خوب را می‌توان با انتخاب رقم هرمس و ۲-۶۹ از شکل‌های بای پلات آغاز کرد. که با استفاده از این اطلاعات می‌توان ژنوتیپ‌های اصلی و ارتباط با صفات مورفولوژیکی را با کاربرد احتمالی برای اهداف اصلاحی خاص شناسایی شود. بنابراین، یک برنامه بهبود شامل هرمس و ۲-۶۹ ممکن است جداسازهای متجاوز و هتروتیک ایجاد کند، به‌طوری که تاریخ انتخاب قبلی سازگاری متقابل را می‌توان برای انتخاب ژنوتیپ‌ها برای صفات مختلف در این ارقام نادیده گرفت.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی در بررسی بر ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در شرایط خشکی

Table 3. Comparison of the mean traits evaluated in the study of potato genotypes under drought conditions.

Irrigation treatment	Genotype	Tuber with 35 mm diameter	Tuber with 35-55 mm diameter	Tuber with 55 mm diameter	Seed (yield kg ha^{-1})	Ware (yield kg ha^{-1})	TN (Unit)	Total (yield kg ha^{-1})	HI (%)	Dry matter (g/kg)	SG (g/cm^3)
Drought	Milva	102.2^{h-j}	13.89^{hi}	4.82^{gh}	0.69^{hi}	0.36^{gh}	247.25^{kl}	6.11^{k}	17.58^{jk}	20.13^{a-h}	0.99^{b}
	Hermes	247.33^{cd}	34.19^{c-e}	6.83^{f}	1.70^{c-e}	0.51^{f}	565.33^{cd}	11.88^{h}	62.82^{b}	19.93^{b-h}	1.0002^{b}
	81-1	159.0^{e-h}	27.35^{e-g}	6.83^{f}	1.36^{e-g}	0.51^{f}	424.00^{g-i}	9.75^{hi}	52.89^{c}	28.938^{a}	1.0002^{b}
	Jelly	106.0^{ij}	29.63^{d-g}	3.89^{hi}	1.48^{d-g}	0.29^{hi}	365.83^{ij}	9.47^{ij}	22.32^{jk}	19.40^{e-i}	1.0004^{b}
	Agria	282.66^{c}	15.95^{hi}	8.72^{e}	0.79^{hi}	0.65^{e}	473.9^{e-h}	9.99^{hi}	30.37^{g-i}	17.21^{i-k}	1.0008^{b}
	Casare	123.66^{g-j}	9.11^{i}	3.42^{i}	0.45^{i}	0.25^{i}	220.83^{l}	5.43^{k}	18.46^{jk}	20.47^{b-g}	1.0006^{b}
	Santé	123.66^{gj}	9.11^{i}	5.50^{g}	0.45^{i}	0.41^{g}	236.98^{l}	5.41^{k}	18.09^{k}	20.67^{b-f}	1.070^{a}
	Savalan	132.5^{fi}	20.51^{gh}	4.83^{gh}	1.025^{gh}	0.36^{gh}	328.98^{jk}	7.43^{jk}	33.156^{e-h}	18.88^{d-j}	1.0009^{b}
	69-2	159.0^{e-h}	22.79^{f-h}	10.39^{d}	1.13^{f-h}	0.77^{d}	416.24^{g-i}	10.44^{hi}	39.80^{ef}	17.79^{h-k}	1.0003^{b}
	Picasso	123.6^{gj}	27.35^{e-g}	7.78^{ef}	1.36^{e-g}	0.58^{ef}	395.98^{h-j}	9.80^{hi}	41.93^{de}	18.74^{e-j}	1.0002^{b}
	Marfona	159.0^{e-h}	23.93^{f-h}	4.83^{gh}	1.19^{f-h}	0.36^{gh}	381.98^{ij}	8.88^{ij}	32.268^{e-h}	20.163^{b-h}	1.0004^{b}

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد. ns, * and **: respectively, non-significant and significant at the 0.05 and 0.01 levels.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

References

Ahmadizadeh, M., & Felenji, H. (2011). Evaluating diversity among potato cultivars using agro-morphological and yield components in fall cultivation of Jiroft area. *American Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, *11*(5), 655-662.

Aksoy, E., Yavuz, C., Yagiz, A. K., Unel, N. M., & Baloğlu, M. C. (2024). Genome- wide characterization and expression analysis of GATA transcription factors under combination of light wavelengths and drought stress in potato. *Plant Direct*, *8*(4), e569. https://doi.org/10.1002/pld3.569.

Asnake, D., Alemayehu, M., & Asredie, S. (2023). Growth and tuber yield responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties to seed tuber size in northwest highlands of Ethiopia. *Heliyon*, *9*(3). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14586

Beiragi, M. A., Ebrahimi, M., Mostafavi, K., Golbashy, M., & Khorasani, S. K. (2011). A study of morphological basis of corn (*Zea mays* L.) yield under drought stress condition using correlation and path coefficient analysis. *Journal of Cereals and Oilseeds*, *2*(2), 32-37.

Binalfew, T., Dechassa, N., & Tana, T. (2015). Influence of plant spacing on seed and ware tuber production of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars grown in Eastern Ethiopia. *Science, Technology and Arts Research Journal*, *4*(3), 11-17. http://dx.doi.org/10.4314/star.v4i3.2

Boguszewska-Mańkowska, D., Zarzyńska, K., & Wasilewska-Nascimento, B. (2022). Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plant Shoot and Root Changes under Abiotic Stresses—Yield Response. *Plants*, *11*(24), 3568. https://doi.org/10.3390/ plants11243568

Cardi, T., Mazzei, M., & Frusciante, L. (2002). Field variation in a tetraploid progeny derived by selfing a Solanum commersonii (+) S. tuberosum somatic hybrid: a multivariate analysis. *Euphytica*, *124*, 111-119. https://doi.org/10.3390/ plants11243568

Dahal, K., Wang, J., Martyn, G. D., Rahimy, F., & Vanlerberghe, G. C. (2014). Mitochondrial alternative oxidase maintains respiration and preserves photosynthetic capacity during moderate drought in Nicotiana tabacum. *Plant Physiology*, *166*(3), 1560-1574. https://doi/10.1104/pp.114.247866

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

Devaux, A., Goffart, J. P., Kromann, P., Andrade-Piedra, J., Polar, V., & Hareau, G. (2021). The potato of the future: opportunities and challenges in sustainable agri-food systems. *Potato Research*, *64*(4), 681-720. https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4

Eid, M. A., Abdel-Salam, A. A., Salem, H. M., Mahrous, S. E., Seleiman, M. F., Alsadon, A. A., ... & Ibrahim, A. A. (2020). Interaction effects of nitrogen source and irrigation regime on tuber quality, yield, and water Use efficiency of *Solanum tuberosum* L. *Plants*, *9*(1), 110. https://doi.org/10.3390/plants9010110

Evers, D., Lefevre, I., Legay, S., Lamoureux, D., Hausman, J. F., Rosales, R. O. G., ... & Schafleitner, R. (2010). Identification of drought-responsive compounds in potato through a combined transcriptomic and targeted metabolite approach. *Journal of experimental botany*, *61*(9), 2327-2343. https://doi.org/10.1093/jxb/erq060

FAOSTAT, F. (2020). Statistical Database: Food and Agriculture Organization of the United Nations, (https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL)

Fathi, M., Asghari, R., Valizadeh, M., Aharizad, S., & Hassanpanah, D. (2010). Evaluation of advanced clones from true potato seed. *Journal of Agricultural Science*, *2*(19), 207-214.

Fozouni, A. A., & Aboutalebian, M. A. (2020). Comparison of Leaf Area Index, Quantitative and Qualitative Characteristics of 13 New Potato Cultivars under semi-arid and cold Climatic Conditions of Razan. *Journal of Crops Improvement*, *22*(4), 645-656.

Haase, I., Evans, R., Pofahl, R., & Watt, F. M. (2003). Regulation of keratinocyte shape, migration and wound epithelialization by IGF-1-and EGF-dependent signalling pathways. *Journal of cell science*, *116*(15), 3227-3238. https://doi.org/10.1242/jcs.00610

Hajibarat, Z., & Saidi, A. (2023). Filamentation temperature-sensitive (FtsH); key player in response to multiple environmental stress conditions and developmental stages in potato. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*(7), 4223-4239.https://doi.org/10.1007/s00344-022-10885-x

Hassan, M. A., Dahu, N., Hongning, T., Qian, Z., Yueming, Y., Yiru, L., & Shimei, W. (2023). Drought stress in rice: morpho-physiological and molecular responses and marker-assisted breeding. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1215371. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1215371

Hassanpanah, D. (2010). Evaluation of potato advanced cultivars against water deficit stress under in vitro and in vivo condition. *Biotechnology*, *9*(2), 164-169.

Hirut, B., Shimelis, H., Fentahun, M., Bonierbale, M., Gastelo, M., & Asfaw, A. (2017). Combining ability of highland tropic adapted potato for tuber yield and yield components under drought. *PloS one*, *12*(7), e0181541. https://doi. org/10.1371/journal.pone.0181541

Indriani, F. C., Restuono, J., Rahajeng, W., Patriyawaty, N. R., Ashari, S., Sundari, T., & Mejaya, M. J. (2021, November). Identification of the genetic diversity of sweet potato germplasm based on quantitative morphological characters. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 911, No. 1, p. 012006). IOP Publishing.

Laurence, R. C. N., Armour, J. D., Shepherd, R. K., Loader, L. R., & Dwyer, M. J. (1985). Nitrogen fertilizer requirements of irrigated potatoes on the Atherton Tableland, North Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *25*(4), 954-958.

Lohani, M., Singh, D., & Singh, J. P. (2012). Genetic diversity assessment through principal component analysis in potato (*Solamun tuberosun* L.). *Vegetable Science*, *39*(02), 207-209.

Minhas, J. S. (2012). Potato: production strategies under abiotic stress. *Improving crop resistance to abiotic stress*, 1155-1167. https://doi.org/10.1002/9783527632930.ch45

Mousapour, Y. (2005). Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of potato new cultivars in spring cultivation. Project final report, Seed and plant Improvement Institute.

Nasir, M. W., & Toth, Z. (2022). Effect of drought stress on potato production: A review. Agronomy, 12(3), 635. https://doi.org/10.3390/agronomy12030635

Ndungutse, V., Ngoda, P. M. N., Vasanthakaalam, H., Shakala, E. K., & Faraj, A. K. (2019). Processing quality of selected potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars grown in Rwanda. http://41.89.96.81:8080/xmlui/handle/123456789/2650

Obidiegwu, J. E., Bryan, G. J., Jones, H. G., & Prashar, A. (2015). Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in plant science*, 6, 542. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00542

Parvizi, Kh, (2008). Study of quantitative and qualitative traits of new early and late potato cultivars in spring cultivation. Agriculture and Horticulture. 79, 1-11.

Pedreschi, F., & Moyano, P. (2005). Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *LWT-Food Science and technology*, *38*(6), 599-604. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.008

Rahimi, M., Ramezani, M., & Rabiee, B. (2009). Identification of elite lines and hybrids of rice using factor analysis.

Rezaie, A., & Soltani, A. (2004). Introduction to ptato production. Jahad Daneshgahi of Tehran University Press. https://doi.org/10.22034/saps.2021.44371.2629

Saidi, A., & Hajibarat, Z. (2018). In silico analysis of floral MADS-BOX gene in Brachypodium distachyon. *Bionature*, 366-375.

Saidi, A., & Hajibarat, Z. (2020). Computational study of environmental stress-related transcription factor binding sites in the promoter regions of maize auxin response factor (ARF) gene family. *Notulae* Scientia Biologicae, 12(3), 646-657. https://doi.org/10.15835/nsb12310823

Sattar, M. A., Uddin, M. Z., Islam, M. R., Bhuiyan, M. K. R., & Rahman, M. S. (2011). Genetic divergence in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, *36*(1), 165-172.

Soboka, S., Asefa, G., & Beriso, M. (2017). Effect of varieties and growing environments on tuber yield, nutritional and process quality of potato grown in bale highlands, south eastern Ethiopia. *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology (IJARIT)*, *7*(2), 18-21. https://doi.org/10.22004/ag.econ.305434

Tairo, F., Mneney, E., & Kullaya, A. (2008). Morphological and agronomical characterization of sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] germplasm collection from Tanzania. *African Journal of Plant Science*, *2*(8), 077-085.

Tang, R., Niu, S., Zhang, G., Chen, G., Haroon, M., Yang, Q., ... & Li, X. Q. (2018). Physiological and growth responses of potato cultivars to heat stress. *Botany*, *96*(12), 897-912. https://doi.org/10.1139/cjb-2018-0125

Tessema, L., Mohammed, W., & Abebe, T. (2020). Evaluation of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties for yield and some agronomic traits. Open Agriculture, 5(1), 63-74. https://doi.org/10.1515/opag-2020-0006

Xu, Z., Lai, X., Ren, Y., Yang, H., Wang, H., Wang, C., ... & Zhang, Y. (2023). Impact of drought stress on yield-related agronomic traits of different genotypes in spring wheat. *Agronomy*, *13*(12), 2968. https://doi.org/10.3390/agronomy13122968

Zabihi-e-Mahmoodabad, R., Jamaati-e-Somarin, S., Khayatnezhad, M., & Gholamin, R. (2011). Correlation of tuber yield whit yield components of potato affected by nitrogen application rate in different plant density. *Advances in Environmental Biology*, 131-136.

Zaki, H. E., & Radwan, K. S. (2022). Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars to drought stress under in vitro and field conditions. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *9*, 1-19. https://doi.org/10.1186/s40538-021-00266-z

Zarzyńska, K., & Pietraszko, M. (2017). Possibility to predict the yield of potatoes grown under two crop production systems on the basis of selected morphological and physiological plant indicators. https://doi.org/10.17221/101/2017-PSE

Zhang, H., Chen, X., Xue, D., Zhang, W., Li, F., Teng, A., ... & Ba, Y. (2024). Dry matter accumulation, water productivity and quality of potato in response to regulated deficit irrigation in a desert oasis region. *Plants*, *13*(14), 1927. https://doi.org/10.3390/plants13141927