

## Yield and morphological responses of twenty potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes in response to drought stress

Z. Hajibarat<sup>1</sup>, A. Saidi<sup>\*</sup>, A. Mosuapour Gorji<sup>2</sup>, M.R. Ghaffari<sup>3</sup>, M. Zienalabedini<sup>3</sup>

1. Department of Plant Sciences and Biotechnology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2. Department of Vegetable Research, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

3. Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Department of Systems and Synthetic Biology, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received 18 July 2021; Accepted 13 October 2021

### Extended abstract

#### Introduction

Water deficit poses severe limitation to potato cultivation as a drought-sensitive crop plant. Selection of tolerant genotypes based on a combination of tolerance indices can provide useful criteria for breeding drought tolerant potato varieties. Water deficit affects plants at various levels and stages of their life cycle. This abiotic stress not only affects plant–water relations through the reduction of leaf water content, turgor, and total water, but it also affects stomata closure, limits gas exchange, reduces transpiration, and disturbs photosynthesis. In potato, tolerance to drought is a very complex trait. Photosynthesis is one of the basic physiological processes of plants with internal and external conditions. Any reduction of the intensity of this process causes a decrease in the amount and quality of crop plants. One of the indicators for early prediction of potato yielding can be the measurement of chlorophyll content. It is an informative tool for studying the effects of different environmental stresses on photosynthesis. Chlorophyll content has an important role in photosynthesis and in understanding plant functions. In any research, measuring of the chlorophyll content is used for assessment of potato genotypes tolerant and/or sensitive to environmental stresses.

#### Materials and methods

In this study, 20 potato genotypes were evaluated under two water levels; normal and water deficit stress conditions. The experiment was performed as split-plot based on randomized complete block design with three replications at the Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran in 2018. The correlations among the different traits were measured and estimated by calculating Pearson correlation coefficients using the statistical tool in Minitab 17. Tuber yield, yield components, growth parameters, and morphological traits were measured under both well-watered and water stressed treatments. Morphological and reproductive characteristics such as plant height, leaf dry weight, chlorophyll content, yield tuber, ware yield, seed yield, non-marketable yield, and marketable yield were measured.

#### Result and discussion

Analysis of variance showed that stem number, chlorophyll content, stem thickness, plant height, leaf dry weight (LDW), total yield, ware yield (yield > 55 mm), seed yield (yield 35-55 mm), non-marketable

\* Corresponding author: Abbas Saidi; E-Mail: [abbas.saidi@gmail.com](mailto:abbas.saidi@gmail.com)



yield (yield<35 mm), and marketable yield (ware and seed yield) were significantly affected by genotype and drought and their interaction. Analysis of variance showed that the simple effect of genotype treatment on all studied traits including yield, ware yield, seed yield and marketable yield, LDW, stem thickness, plant height, chlorophyll content, and stem number were significant at 1% level. Correlation of stem number and plant height was highly positive and significant at the 0.01 level. Principal component analysis (PCA) and measured traits showed that genotypes 2, 5, 7 and 13 had high performance in the studied stress environment. To fully reflect the various factors that played a principal role in the comprehensive indicators, PCA was carried out on quantitative traits. The accumulative contribution rate accounted for 99% of the total variation for PC3. Analysis of PCA by the correlation matrix and the biplot analysis methods used in this study revealed that these parameters could be used for evaluating the responses of potato genotypes to water deficit in different environments. The associations among traits related to yield and genotypes are graphically revealed in a biplot of PC1 and PC2. The PC1 and PC2 axes mainly distinguish the morphological traits and yield-related traits in three different groups.

### **Conclusion**

Parameters related to yield and leaf photosynthetic pigment content (chlorophyll content) were used to rank the clones and cultivars tested for comparative analysis. Based on our results, genotype 7 performed well under normal and water stress conditions. Water deficit is an important constraint limiting the crop productivity worldwide. Plants show a wide range of responses to water deficit which are mostly expressed by a variety of alterations in the growth and morphology of plants. Field experiments revealed that water deficit affects all evaluated morphological and yield related traits.

**Keywords:** Chlorophyll content, Correlation, Morphological traits, Potato, Yield

## عملکرد و پاسخ‌های مورفولوژیکی بیست ژنوتیپ سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در پاسخ به تنش خشکی

زهرا حاجی‌برات<sup>۱</sup>، عباس سعیدی<sup>۱\*</sup>، احمد موسی‌پورگرگی<sup>۲</sup>، محمدرضا غفاری<sup>۳</sup>، مهرشاد زین‌العابدینی<sup>۳</sup>  
۱. گروه علوم و فناوری زیستی گیاهی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران  
۲. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج  
۳. گروه زیست‌شناسی سیستم‌ها، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	
سیب‌زمینی	تنش خشکی ناشی از کمبود آب، محدودیت اساسی برای کشت سیب‌زمینی به‌عنوان گیاه زراعی حساس به خشکی است. در این مطالعه، ۲۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی در دو سطح آب (شرایط نرمال و شرایط تنش کم‌آبایی) مورد بررسی قرار گرفتند. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، ایران در سال ۱۳۹۸ انجام شد. تجزیه واریانس صفات تعداد ساقه، مقدار کلروفیل، قطر ساقه، ارتفاع بوته، وزن خشک برگ (LDW)، عملکرد کل، عملکرد خوراکی بر اساس قطر (عملکرد غده < ۵۵ میلی‌متر)، عملکرد بذری (عملکرد بین ۵۵-۳۵ میلی‌متر)، عملکرد غیرقابل فروش (عملکرد > ۳۵ میلی‌متر) و عملکرد قابل فروش (خوراکی و بذری) از نظر ژنوتیپ و خشکی و اثر متقابل بین ژنوتیپ و خشکی به‌طور معنی‌داری تفاوت داشتند. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین تعداد ساقه و ارتفاع بوته وجود داشت. تجزیه مؤلفه اصلی PCA و صفات اندازه‌گیری شده نشان داد که ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۷ و ۱۳ می‌توانند عملکرد بالایی در محیط تحت تنش مورد مطالعه از خود نشان دهند. پارامترهای مربوط به عملکرد و محتوای رنگ‌دانه فتوسنتزی برگ (محتوای کلروفیل) برای رتبه‌بندی کلون‌ها و ارقام آزمایش‌شده برای تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ژنوتیپ ۷ بهترین پاسخ به تنش خشکی و آبیاری نرمال را نشان داد. همچنین تعداد ساقه با ارتفاع بوته، ضخامت ساقه و LDW و مقدار کلروفیل همبستگی معنی‌داری داشت.
تاریخ دریافت:	
۱۴۰۰/۰۴/۲۷	
تاریخ پذیرش:	
۱۴۰۰/۰۷/۲۱	
تاریخ انتشار:	
بهار ۱۴۰۲	
۱۹۴-۱۸۳(۱):۱۶	

### مقدمه

از طریق کاهش محتوای آب، باعث بسته شدن روزنه، کاهش تعرق و ایجاد اختلال در فتوسنتز و نهایتاً تأثیر منفی روی گیاهان می‌گذارد (Martínez-Romero et al., 2019; Mbava et al., 2020). کمبود آب باعث کاهش سطح برگ، وزن خشک برگ (LDW) و تغییر تسهیم جذب کربن در بافت‌های گیاه می‌شود (Zain et al., 2014). حساسیت ژنوتیپ‌ها به کمبود آب متفاوت بوده و می‌توان آن‌ها را در دو گروه متحمل یا حساس طبقه‌بندی نمود (Cabello et al.,

سیب‌زمینی، سومین محصول خوراکی تولید جهانی پس از گندم و برنج است. سطح زیرکشت این گیاه در ایران در حدود ۱۷۰,۰۰۰ هکتار و میزان تولید حدود ۵ میلیون تن برآورد می‌شود و سطح زیرکشت سیب‌زمینی در جهان حدود ۱۷,۳ میلیون هکتار و میزان تولید آن به ۳۷۰ میلیون تن در هکتار می‌رسد (FAO, 2020). کمبود آب، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی بوده که این تنش تأثیر منفی بر روی مراحل مختلف رشد سیب‌زمینی می‌گذارد. کمبود آب

برای عملکرد بالا تحت تنش و سایر صفات فنوتیپی است (Mauromicale et al., 2006). تأخیر در زمان پیری برای عملکرد مناسب گیاهان تحت تنش خشکی در انتهای فصل ضروری تلقی می‌شود؛ بنابراین، این یک روش مطلوب برای به‌دست‌آوردن داده‌ها بدون نمونه‌گیری وقت‌گیر و هزینه بالا است (Bartlett et al., 2012). در سیب‌زمینی، تحمل به خشکی یک صفت پیچیده است (Anithakumari et al., 2012). تحمل به خشکی در گیاهی اغلب با صفات مورفولوژیکی آن‌ها همراه است. همچنین، ژنوتیپ‌های دیررس سیب‌زمینی با سیستم ریشه‌ای بیشتر و عمیق‌تر، نسبت به خشکی مقاومت بیشتری دارند (Iwama 2008). برای شناسایی والدین برتر از مشخصات مورفولوژیکی می‌توان استفاده نمود و همیشه باید از آن‌ها برای معرفی و طبقه‌بندی ژرم‌پلاسما استفاده شود.

آنالیز مؤلفه‌های اصلی و گروه‌بندی خوشه‌ها نیز ابزار مفیدی برای غربال‌گری ژنوتیپ‌های متحمل هستند (Karimi et al., 2009). برنامه‌های اصلاحی امکانی برای بهبود محصول در شرایط آب‌وهوایی پیش‌بینی شده (به‌عنوان مثال خشکی) فراهم می‌کند (Mark and Peter, 2010). علاوه بر صفات مورفولوژیکی، سایر صفات مرتبط با عملکرد مثل شاخص‌های عملکرد نقش مهمی در انتخاب والدین دارد؛ بنابراین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی برای بررسی اثر تنش خشکی بر کاهش عملکرد در مقایسه با شرایط نرمال، برای غربال‌گری ژنوتیپ‌های متحمل به تنش استفاده می‌شود (Mitra, 2001). اهداف این مطالعه شامل (۱) ارزیابی صفات مورفولوژیکی و صفات مربوط به عملکرد سیب‌زمینی تحت شرایط آبیاری (تنش کم آبیاری و نرمال)، (۲) ارزیابی اینکه کدام یک از این شاخص‌ها بیشترین ارتباط را با عملکرد دارد و (۳) آیا امکان پیش‌بینی عملکرد نهایی بر این اساس وجود دارد، هستند.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه، طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ارتفاع ۱۳۱۳ متر بالاتر از سطح دریا) طی سال ۱۳۹۰-۱۳۹۸ انجام شد. در این پژوهش، ۲۰ ژنوتیپ (یک رقم و ۱۹ کلون) سیب‌زمینی از نظر تفاوت حساسیت به تنش آبی و میزان رسیدگی ژنوتیپ‌ها در

(Obidiegwu et al., 2015; 2013). در مطالعه‌ای نشان داده شد که تنش خشکی در مرحله گلدهی گندم منجر به کاهش محتوای کلروفیل گردید (Mihaljevic et al., 2021). همچنین در مطالعه‌ای گزارش شد که میزان کلروفیل در گیاهچه برنج تحت تنش خشکی کاهش یافت (Dalal and Tripathy, 2012). کاهش میزان فتوسنتز باعث کندشدن رشد می‌شود و بر پارامترهایی مانند میزان ماده خشک و انتشار فتواسیمیلات در گیاهان تأثیر می‌گذارد (Chaves et al., 2003; Lahlou et al., 2002). این اثرات سوء بر رشد سیب‌زمینی و سورگوم گزارش شده است (Lahlou et al., 2003). با این حال، تفاوت‌هایی در اثرات ناشی از تنش خشکی مربوط به تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در بین گونه‌ها و ارقام مشاهده شده است.

بر اساس نتایج یک مطالعه نشان داده شد که میزان عملکرد غده در آغاز تشکیل غده و حالت برگ‌های فعال فتوسنتزی افزایش می‌یابد (Milthrope and Moorby, 1997). هرگونه کاهش میزان فتوسنتز باعث کاهش کیفیت عملکرد می‌شود (Kooistra and Clevers, 2016). یکی از شاخص‌های تخمین عملکرد سیب‌زمینی می‌تواند مقدار کلروفیل باشد. این یک ابزار مناسب برای بررسی تأثیر تنش‌های مختلف بر فتوسنتز است (Strasser et al., 2000). محتوای کلروفیل برای ارزیابی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی متحمل/حساس به تنش‌های محیطی استفاده می‌شود (Mauromicale et al., 2006). تنش و مدت‌زمان تنش به شدت تنش و همچنین به نوع ژنوتیپ بستگی دارد (Hill et al., 2020). برای انتخاب محصولات زراعی مهم است که والدین برتر بر اساس تحمل به تنش‌های غیرزیستی انتخاب شوند. در سیب‌زمینی، کمبود آب به‌طور قابل‌توجهی باعث کاهش تعداد برگ، پتانسیل آب گیاه، سطح برگ، ارتفاع ساقه و تعداد غده‌ها می‌شود (Martínez et al., 2021).

علاوه بر این، مطالعات ریخت‌شناسی خشکی در سیب‌زمینی با استفاده از صفات زیست‌توده، عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیکی انجام شده است. درجه سبزیگی از طریق میزان کلروفیل (SPAD)، یک صفت گیاهی بوده که برای ارزیابی تأخیر در پیری برگ در برخی از محصولات تحت تنش برآورد شد. در سیب‌زمینی، از محتوای کلروفیل برای ارزیابی پاسخ عملکرد به محدودیت آب استفاده شده است (Yactayo et al., 2013). مطالعات نشان داده‌اند که اغلب، اصلاح سیب‌زمینی برای تحمل به خشکی بر اساس انتخاب

مدت‌زمان ۱۰۰ تا ۱۱۰ روز انتخاب شدند (جدول ۱) و به صورت دور‌دیف با طول ۵ متر و فاصله در ردیف ۲۵ سانتی‌متر و بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر کشت شد. در ابتدای هر بلوک کنترل آب نصب و آبیاری در هر مرحله به صورت کنترل شده انجام شد. آبیاری گیاهان در ۱۵ مرحله و هر هفته یکبار انجام شد. میزان آب مصرفی برای تنش کم‌آبیاری و شرایط نرمال تا استقرار کامل گیاه (چهار هفته) به طور یکسان بود. میزان آب مصرفی در هر دور آبیاری تا قبل از مرحله اعمال تنش به طور متوسط ۳۸۰ مترمکعب در هکتار بود پس از

استقرار گیاه برای نه هفته میزان آب مصرفی در هر دور آبیاری برای شرایط کم‌آبیاری و نرمال به ترتیب ۲۵۰ و ۶۵۰ مترمکعب در هکتار در نظر گرفته شد. به منظور ریکاوری گیاه، در دو مرحله پایانی آبیاری به میزان یکسان برای هر دو تیمار تنش و نرمال صورت گرفت و میزان آب مصرفی در هر مرحله ۴۵۰ مترمکعب در هکتار بود. پس از این مرحله آبیاری قطع و دو هفته پس از آن برداشت صورت گرفت. میزان آب مصرفی در کل دوره رشد رویشی برای شرایط تنش و نرمال به ترتیب ۴۶۷۰ و ۸۲۷۰ مترمکعب در هکتار بود.

جدول ۱. لیست ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مورد استفاده در مطالعه

Table 1. List of potato genotypes used in the study.

ردیف	ژنوتیپ	منشأ	رسیدگی	سال	ردیف	ژنوتیپ	منشأ	رسیدگی	سال
No.	Genotype	Origin	Maturity time (day)	Clone Year	No.	Genotype	Origin	Maturity time (day)	Clone Year
1	901227	♂Luta×Savalan♀	115	7	11	8708/137	♂Caesar×Savalan♀	96	7
2	902027	♂Luta×Savalan♀	125	7	12	8703-1	♂Savalan×Agria ♀	103	7
3	Hx1	♂Satina× Luca♀	125	7	13	8701/125	♂Savalan×Caesar♀	97	7
4	90975	♂Caesar× Luca♀	120	7	14	8702/5	♂Caesar×Kenebek♀	130	7
5	901175	♂Caesar×Luca♀	122	7	15	8707/26	♂Caesar×Agria♀	111	7
6	901275	♂Caesar×Luca♀	130	7	16	8708/244	♂Caesar×Savalan♀	120	7
7	90275	♂Caesar×Luca♀	130	7	17	8703/804	♂Savalan×Agria ♀	99	7
8	Caesar	♂Monalisa×Ropta♀	130	7	18	KSG807	♂Kenebek×Caesar♀	106	7
9	8708/7	♂Caesar×Savalan♀	122	7	19	KSG616	♂Caesar×Agria♀	105	7
10	8707/87	♂Caesar×Agria♀	112	7	20	KSG300	♂Savalan×Caesar♀	115	7

### محتوای کلروفیل

محتوای کلروفیل در ۱۰۰ روز پس از کاشت (DAP) با استفاده از کلروفیل‌متر قابل‌حمل (Minolta SPAD-502) از سه قسمت برگ (قسمت‌های بالا، وسط و پایین) اندازه‌گیری شد (Li et al., 2012). صفاتی مانند عملکرد غده و وزن خشک برگ با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شدند. مقادیر شاخص SPAD به‌طور متناسب با محتوای کلروفیل مطلق در ۱۰۰ روز بعد از کاشت منعکس شده یا با آن همبستگی زیادی دارند. دستگاه کلروفیل‌متر می‌تواند با اندازه‌گیری میزان جذب در طیف طول‌موج ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر، محتوای کلروفیل را به‌طور غیرمستقیم تعیین کند

یازده پارامتر مختلف از جمله تعداد ساقه، مقدار کلروفیل، ضخامت ساقه، ارتفاع بوته، وزن خشک برگ (LDW)، عملکرد کل، عملکرد خوراکی < ۵۵ میلی‌متر، عملکرد بذری بین ۳۵-۵۵ میلی‌متر، عملکرد سیب‌زمینی غیرقابل‌فروش > ۳۵ میلی‌متر و عملکرد قابل‌فروش انتخاب شدند (جدول ۲). اکثر پارامترهای انتخاب‌شده در این مطالعه برای برنامه اصلاحی از جمله ویژگی کیفیت و عملکرد مناسب بود. نتایج تجزیه‌وتحلیل همبستگی، خوشه‌بندی ژنوتیپ‌ها و آنالیز PCA با استفاده از نرم‌افزار Minitab v.17 بررسی شد.

## نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس برای فنوتیپ ۲۰ ژنوتیپ سبب‌زمینی در محیط‌های مورد آزمایش نشان داد که تغییرات آماری معنی‌داری در تعداد ساقه، محتوای کلروفیل، ضخامت ساقه، ارتفاع بوته، وزن خشک برگ (LDW)، عملکرد کل، عملکرد خوراکی <math>55</math> میلی‌متر، عملکرد بذری (۳۵-۵۵) میلی‌متر و عملکرد غیرقابل فروش <math>35</math> میلی‌متر وجود دارد (جدول ۲). مطابق جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی ژنوتیپ و خشکی و اثر متقابل ژنوتیپ × خشکی بر روی صفات تعداد ساقه و ارتفاع بوته تفاوت معنی‌داری نشان داد ( $P < 0.01$ ).

(Kooistra and Clevers, 2016). ارتفاع بوته در طی چهل و دو روز از زمان جوانه‌زنی با استفاده از بالاترین رأس هر گیاه در هر کرت به دست آمد.

## تجزیه و تحلیل داده‌ها

عملکرد غده، اجزای عملکرد، پارامترهای رشد و صفات مورفولوژیکی تحت هر دو تیمار آبیاری نرمال و تحت تنش کم‌آبیاری با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab 17 آنالیز شدند. داده‌های پارامترهای تنش خشکی و همبستگی بین صفات مختلف با محاسبه ضرایب همبستگی پیرسون با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab 17 بررسی شدند.

جدول ۲. تجزیه واریانس برای صفات تعداد ساقه، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن خشک برگ، محتوای کلروفیل، عملکرد غده، عملکرد خوراکی، عملکرد بذری، عملکرد غیر قابل فروش و عملکرد قابل فروش در ۲۰ ژنوتیپ سبب‌زمینی.

Table 2. Analysis of variance for traits of stem number, plant height, stem thickness, LDW, chlorophyll content, tuber yield and ware yield, seed yield, and non-marketable and marketable yield in 20 potato genotypes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد ساقه Number of stem	ارتفاع گیاه Plant height	قطر ساقه Stem thickness	وزن خشک برگ Leaf dry weight	محتوای کلروفیل Chlorophyll content
تکرار Rep.	2	0.01	5.26	0.017	0.000004	0.327
ژنوتیپ Genotype (G)	19	7.398**	476.95**	1.41**	0.00157**	93.906**
خشکی Drought (D)	1	23.41**	1466.5**	4.366**	0.0053**	423.189**
خشکی × ژنوتیپ G * D	19	0.37**	16.41**	0.047	0.0002**	7.588**
خطا Error	78	0.02	0.87	0.002	0.00006	1.330
CV%		2.0	2.3	1.1	1.0	3.5

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	عملکرد عملکرد Yield	عملکرد خوراکی Ware yield	عملکرد بذری Seed yield	عملکرد غیرقابل فروش Non-marketable yield	عملکرد قابل فروش Marketable yield
تکرار Rep.	2	1.78	0.273	0.534	0.012	1.57
ژنوتیپ Genotype (G)	19	10.39**	1.01**	1.972**	0.047**	5.80**
خشکی Drought (D)	1	67.482**	0.0078	0.049	0.013	0.097
خشکی × ژنوتیپ G * D	19	0.822	1.10**	2.130**	0.045**	6.24
خطا Error	78	1.04	0.20	0.382	0.007	1.14
CV%		3.6	1.1	0.75	2.1	4.0

\*\* و \* به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهند.

\*\* and \* show significance difference at the level of 1 and 5%, respectively

یک درصد تأثیر داشتند. ژنوتیپ‌ها تأثیر معنی‌داری بر عملکرد غده، وزن خشک برگ و محتوای کلروفیل داشتند. از نظر LDW، بین ژنوتیپ‌ها، تفاوت معنی‌داری برای مقدار کلروفیل و عملکرد زراعی مشاهده نشد. عملکرد غده و کیفیت غده سیب‌زمینی تحت شرایط کمبود آب توسط محققان دیگر گزارش شده است (Lahlou et al., 2003; Samaee et al., 2016). در مطالعه‌ای نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش وزن تازه و وزن خشک غده، زیست‌توده، ماده خشک برگ، شاخص سطح برگ و شاخص برداشت در بین ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی می‌شود (Lahlou et al., 2003). افزایش مدت‌زمان تنش آب قبل از تشکیل غده نیز باعث کاهش تشکیل غده در ساقه می‌شود، اما ادامه کمبود آب در هنگام بزرگ‌شدن غده باعث کاهش اندازه و بازده قابل‌فروش می‌شود (Kumari, 2012).

#### همبستگی صفات عملکرد و صفات مورفولوژیکی

همبستگی بین عملکرد غده و صفات فنوتیپ در جدول ۳ آورده شده است.

نتایج نشان داد که تأثیر تیمار ژنوتیپ‌ها بر روی کلیه صفات مورد مطالعه شامل عملکرد، عملکرد بذری و عملکرد قابل‌فروش در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر تیمار آبیاری بر عملکرد در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ همچنین از نظر تعداد ساقه، ارتفاع بوته، LDW، مقدار کلروفیل، عملکرد خوراکی، عملکرد بذری و عملکرد غیرقابل‌فروش در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با این حال، تیمار اثر متقابل بین ژنوتیپ با تیمار آبیاری بر روی عملکرد بذری و عملکرد خوراکی، ضخامت ساقه و عملکرد قابل‌فروش معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که تیمار ژنوتیپ بر روی کلیه صفات مورد مطالعه شامل تعداد ساقه، ارتفاع بوته، مقدار کلروفیل، LDW، عملکرد بذری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر ساده تیمار آبیاری بر عملکرد نیز در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تیمارهای آبیاری به طور معنی‌داری بر عملکرد، تعداد ساقه، ارتفاع بوته، مقدار کلروفیل، LDW، مقدار کلروفیل در سطح

جدول ۳. ضریب همبستگی صفات فنوتیپی در میان ۲۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی

Table 3. The correlation coefficients of phenotypic traits among 20 potato genotypes.

همبستگی	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Correlation										
1 تعداد ساقه Number of stem	1	0.996**	0.996**	0.966**	0.991**	-0.053	0.039	0.051	0.078	0.046
2 ارتفاع گیاه Plant height		1	1.000**	0.967**	0.990**	-0.037	0.041	0.051	0.084	0.047
3 قطر ساقه Stem thickness			1	0.967**	0.990**	-0.037	0.042	0.052	0.084	0.048
4 وزن خشک برگ Leaf dry weight				1	0.957**	0.093	0.17	0.181	0.194	0.176
5 محتوای کلروفیل Chlorophyll content					1	-0.033	0.038	0.045	0.079	0.042
6 عملکرد Yield						1	0.934**	0.930**	0.916**	0.932**
7 عملکرد خوراکی Ware yield							1	0.997**	0.971**	0.999**
8 عملکرد بذری Seed yield								1	0.969**	0.999**
9 عملکرد غیرقابل‌فروش Non-marketable yield									1	0.970**
10 عملکرد قابل‌فروش Marketable yield										1

ns و \*\*، \* به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد و پنج درصد و تفاوت غیر معنی‌دار است.

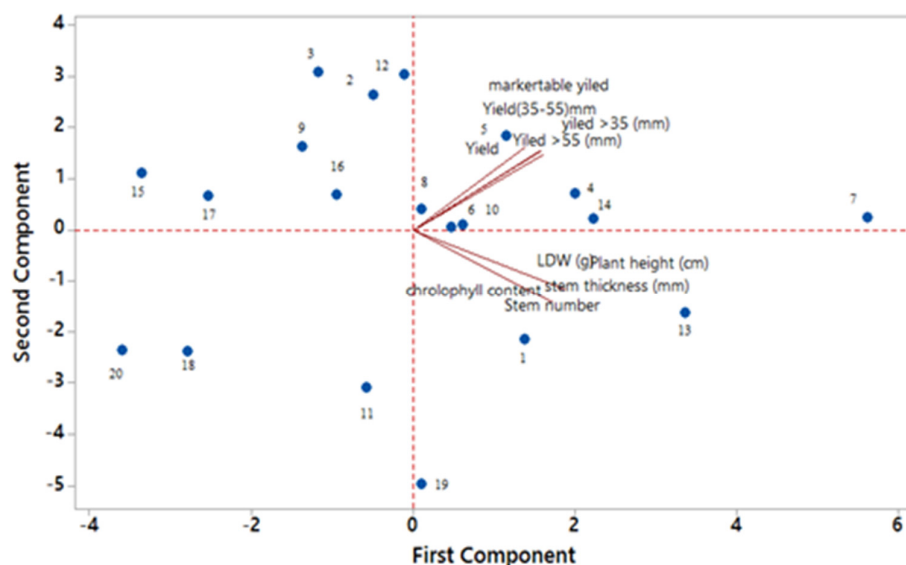
ns, \* and \*\* show significance difference at the level of 1 and 5% and non-significance, respectively.

نرخ سهم تجمعی از تغییرات کلی ۹۹ PC3٪ را به خود اختصاص داده است. باتوجه به آنالیز PCA توسط ماتریس همبستگی و روش تجزیه و تحلیل بای پلات، مشخص شد که از این پارامترها می‌توان برای ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی به کمبود آب در محیط‌های مختلف استفاده کرد. ماتریس همبستگی محاسبه و آنالیز PCA بر اساس این ماتریس همبستگی رتبه انجام شد (Lipkovich and Smith, 2002). تجزیه و تحلیل PCA نشان داد که عملکرد، عملکرد بذری، عملکرد خوراکی و عملکرد غیرقابل فروش با LDW و قطر ساقه با محتوای کلروفیل و ارتفاع گیاه ارتباط معنی‌داری دارد. دو مؤلفه اول ۲۲٪ از واریانس متغیرها را نشان می‌دهد. ارتباط صفات مربوط به عملکرد و ژنوتیپ‌ها به صورت گرافیکی در دو قطعه PC1 و PC2 نشان داده شده است (شکل ۱).

محققان گزارش کردند پاسخ ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی برای همه مکان‌ها یکسان نیست (Becker and Leon 1988). از این رو، می‌توان از این پارامترها برای توصیه ژنوتیپ‌های سازگار در ایران استفاده کرد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین پارامترهای پایداری وجود دارد و پارامترها می‌توانند نقش مشابهی در انتخاب ژنوتیپ‌ها داشته باشند. یافته‌های ما با دیگر محققان در محصولات زراعی مانند گندم و جو مطابقت داشت (El-Hashash and Agwa, 2018; Yaghotipoor et al., 2017). این صفات با هم و با میانگین عملکرد همبستگی معنی‌دار و مثبت داشتند (جدول ۳).

### تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)

PCA بر روی صفات کمی برای بررسی کامل عوامل مختلفی که در شاخص‌های خشکی نقش اساسی داشته، انجام گرفت.



شکل ۱. نمودار بای پلات PCA برای تنش خشکی در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی.

Fig. 1. PCA biplot for drought stress in potato genotypes.

بنابراین، برجسته‌ترین روابط مربوط به شکل ۱ عبارتند از: ارتباط مثبت قوی بین عملکرد خوراکی (عملکرد < ۵۵ میلی-متر)، عملکرد، سیب‌زمینی قابل فروش (عملکرد خوراکی و بذری)، عملکرد بذری (۳۵-۵۵ میلی-متر) و عملکرد غیرقابل فروش (عملکرد > ۳۵ میلی-متر) همان‌طور که با زاویه‌های کوچک بین بردارها نشان داده شده است. همچنین همبستگی مثبت و بالایی بین تعداد ساقه، ارتفاع بوته، ضخامت ساقه (میلی-متر)، LDW و مقدار کلروفیل وجود

محورهای PC1 و PC2 به‌طور عمده صفات مورفولوژیکی و صفات مربوط به عملکرد را در سه گروه مختلف تشخیص می‌دهد مطابق با آنالیز PCA، اولین محورهای اصلی PC1 و PC2 تعداد ساقه، ارتفاع بوته، ضخامت ساقه و محتوای کلروفیل را تشخیص دادند. در شکل ۱، یک بردار از مبدأ برای هر پارامتر از روش‌های پایداری برای رابطه بین روش‌های مختلف پایداری رسم شده است. ضریب همبستگی بین هر دو روش پایداری با کسینوس زاویه بین بردارها ارتباط دارد؛

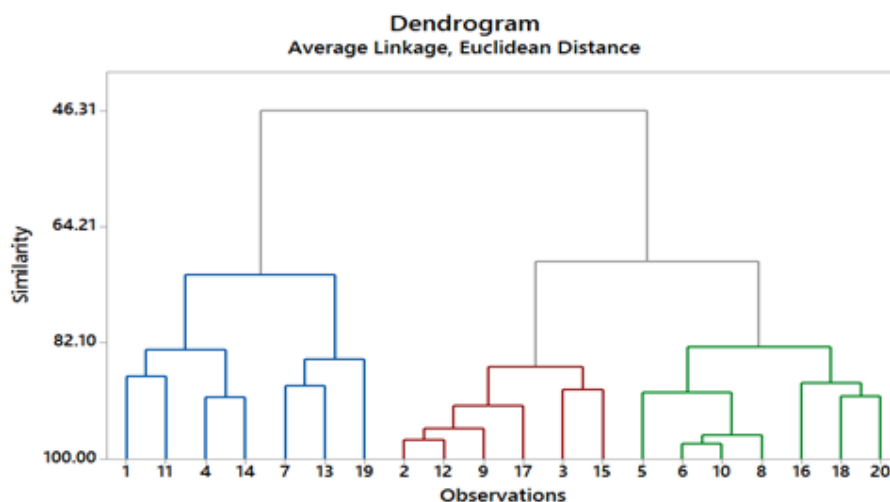


شدند. کلاستر III به ۹ ژنوتیپ تقسیم شد، که نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی است. با توجه به رابطه بین اجزا و صفات مورد بررسی، ژنوتیپ‌های ۹۰۱۲۲۷، ۱۲۵/۸۷۰۱ و KSG616 در قسمت پایین سمت راست نمودار قرار گرفتند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی در نظر گرفته شدند. از طرف دیگر، ژنوتیپ‌های 8708/244، 8707/26، 8703-1، 8708/7، Hx1، ۹۰۲۰۲۷ و 8703/804 واقع در قسمت فوقانی سمت چپ نمودار به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به خشکی شناسایی شدند (شکل ۲). نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای نشان داد که ژنوتیپ‌های متحمل و حساس تحت تنش خشکی در یک گروه با الگوی مشابه قرار گرفتند.

داشت (شکل ۱). تنوع ژنوتیپ‌ها در کلیه محیط‌ها برای عملکرد غده با استفاده از نمایش گرافیکی بای‌پلات ارزیابی شد و ژنوتیپ‌ها با توجه به امتیازات اجزای اصلی (PCA) آن‌ها ارزیابی گردیدند. کلون‌هایی که در رتبه‌بندی تغییرات کمتری دارند، پایداری بالایی نسبت به محیط دارند (Becker and Leon 1988). بر اساس مطالعه‌ای، برای بررسی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها از پارامترهای فیزیولوژیکی مانند شاخص سطح برگ، مدت‌زمان سطح برگ، محتوای کلروفیل استفاده شده است (Lahlou et al., 2003).

### آنالیز خوشه‌ای

براساس تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها در سه خوشه گروه‌بندی شدند. کلاستر I و II به ترتیب در ۱۴ و ۱۶ ژنوتیپ گروه‌بندی



شکل ۲. مقایسه صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در پاسخ به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی.

Fig. 2. Comparison of morphological and physiological traits means in response to drought stress in potato genotypes.

مترمربع) و کمترین عملکرد قابل‌فروش (۰/۰۷ کیلوگرم در مترمربع) مربوط به ژنوتیپ ۲۰ بود (جدول ۴). همچنین کمترین ارتفاع گیاه (۴۷/۵ سانتی‌متر) و وزن خشک برگ (۰/۰۷۸ گرم) برای ژنوتیپ ۲۰ بود. ژنوتیپ ۱۷ در شرایط نرمال کمترین تعداد ساقه (۵/۸۳) و محتوای کلروفیل (۳۲/۱۵) را داشت. بر اساس شرایط تنش کم‌آبایی، ژنوتیپ ۵ با (۳/۱۳) کیلوگرم در مترمربع) و (۰/۵۷) کیلوگرم در مترمربع) و (۵) کیلوگرم در مترمربع) به ترتیب بیشترین عملکرد بذری و عملکرد قابل‌فروش را داشت و همچنین بیشترین عملکرد خوراکی مربوط به ژنوتیپ ۷ (۲/۱۵) کیلوگرم در مترمربع) بود.

باتوجه به نتایج حاصل از آزمایش، اثر متقابل ژنوتیپ و شرایط نرمال نشان داد که در شرایط نرمال ژنوتیپ ۷ به ترتیب بیشترین عملکرد خوراکی، عملکرد بذری و عملکرد قابل‌فروش با (۲/۳۵) کیلوگرم در مترمربع)، (۳/۲۴) کیلوگرم در مترمربع) و (۰/۴۴) کیلوگرم در مترمربع) را داشت. همچنین ژنوتیپ ۷ بالاترین ارتفاع گیاه را با میزان ۷۲/۳ سانتی‌متر نشان داد. بر اساس صفات مورفولوژیکی، ژنوتیپ ۱۳ در شرایط نرمال بیشترین تعداد ساقه (۹)، وزن خشک برگ (۰/۱۳۵) و محتوای کلروفیل (۱۵/۴۴) داشت. کمترین عملکرد خوراکی، عملکرد بذری مربوط به ژنوتیپ ۱۹ به ترتیب (۴۴) کیلوگرم در مترمربع)، (۰/۶۲۵) کیلوگرم در

جدول ۴. اثر متقابل تیمارهای ژنوتیپ و تنش کم‌آبی بر صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده سیب‌زمینی

Table 4. Interaction effect of genotype and water deficit on measured potato traits

ژنوتیپ Genotype	تیمارهای آبیاری	تعداد ساقه	ارتفاع گیاه	وزن خشک برگ	محتوای کلروفیل	عملکرد خوراکی	عملکرد بذری	عملکرد قابل فروش
	Irrigation treatments	Stem number	Plant height cm	LDW g.pl <sup>-1</sup>	Chlorophyll content	Ware yield	Seed yield kg.pl <sup>-1</sup>	Marketable yield
1		8.33 <sup>b-c</sup>	69.8 <sup>3b</sup>	0.11 <sup>a-f</sup>	42.15 <sup>ab</sup>	0.475 <sup>f-h</sup>	0.7 <sup>d-f</sup>	0.115 <sup>g-i</sup>
2		6.0 <sup>i-k</sup>	51.2 <sup>l</sup>	0.08 <sup>d-l</sup>	32.9 <sup>g-m</sup>	1.05 <sup>a-h</sup>	1.39 <sup>a-c</sup>	0.23 <sup>b-i</sup>
3		6.0 <sup>i-k</sup>	48.5 <sup>n</sup>	0.08 <sup>e-l</sup>	33.62 <sup>f-l</sup>	0.66 <sup>e-h</sup>	0.9 <sup>d-f</sup>	0.125 <sup>f-i</sup>
4		8.0 <sup>cd</sup>	65.16 <sup>d</sup>	0.1225 <sup>ab</sup>	38.73 <sup>b-d</sup>	0.64 <sup>e-h</sup>	0.92 <sup>d-f</sup>	0.145 <sup>d-i</sup>
5		7.0 <sup>e-f</sup>	59.0 <sup>f</sup>	0.101 <sup>b-i</sup>	36.4 <sup>c-h</sup>	0.54 <sup>fh</sup>	0.745 <sup>d-f</sup>	0.085 <sup>hi</sup>
6		7.5 <sup>d-e</sup>	59.83 <sup>fg</sup>	0.114 <sup>a-e</sup>	36.65 <sup>c-g</sup>	1.2 <sup>a-h</sup>	1.61 <sup>a-c</sup>	0.205 <sup>c-i</sup>
7		8.83 <sup>ab</sup>	72.3 <sup>ab</sup>	0.117 <sup>a-d</sup>	42.07 <sup>ab</sup>	2.35 <sup>a</sup>	3.24 <sup>a</sup>	0.445 <sup>ab</sup>
8		6.83 <sup>fg</sup>	56.6 <sup>hi</sup>	0.08 <sup>d-l</sup>	37.0 <sup>c-g</sup>	1.58 <sup>a-h</sup>	2.19 <sup>a-d</sup>	0.335 <sup>b-g</sup>
9		6.16 <sup>hj</sup>	52.0 <sup>lm</sup>	0.08 <sup>e-l</sup>	33.4 <sup>f-m</sup>	1.45 <sup>a-h</sup>	2.04 <sup>a-c</sup>	0.27 <sup>b-i</sup>
10	آبیاری مطلوب	7.0 <sup>ef</sup>	58 <sup>g-i</sup>	0.09 <sup>b-j</sup>	35.02 <sup>d-j</sup>	1.57 <sup>a-h</sup>	2.22 <sup>ab</sup>	0.3 <sup>a-d</sup>
11		7.5 <sup>de</sup>	64.33 <sup>de</sup>	0.109 <sup>a-g</sup>	38.72 <sup>b-d</sup>	0.735 <sup>d-h</sup>	0.97 <sup>d</sup>	0.135 <sup>e-i</sup>
12	Optimal irrigation	6.16 <sup>hi</sup>	49.83 <sup>m</sup>	0.09 <sup>fg</sup>	34.05 <sup>fg</sup>	1.57 <sup>a-c</sup>	2.31 <sup>a-c</sup>	0.305 <sup>b-h</sup>
13		9.0 <sup>a</sup>	71.0 <sup>b</sup>	0.135 <sup>a</sup>	44.15 <sup>a</sup>	1.70 <sup>ac</sup>	2.36 <sup>a-c</sup>	0.29 <sup>b-h</sup>
14		8.33 <sup>bc</sup>	69.3 <sup>bc</sup>	0.12 <sup>a-c</sup>	39.98 <sup>bc</sup>	1.995 <sup>a-c</sup>	2.955 <sup>a-c</sup>	0.36 <sup>a-d</sup>
15		6.0 <sup>ij</sup>	47.5 <sup>o</sup>	0.078 <sup>gh</sup>	32.56 <sup>hj</sup>	1.2 <sup>ad</sup>	1.66 <sup>ac</sup>	0.25 <sup>b-i</sup>
16		6.83 <sup>fg</sup>	55.33 <sup>i-k</sup>	0.08 <sup>eg</sup>	35.9 <sup>de</sup>	1.03 <sup>ac</sup>	1.42 <sup>ac</sup>	0.185 <sup>c-i</sup>
17		5.83 <sup>ij</sup>	49.0 <sup>m</sup>	0.1 <sup>cd</sup>	32.15 <sup>ij</sup>	1.16 <sup>a-d</sup>	1.57 <sup>a-c</sup>	0.175 <sup>c-i</sup>
18		7.0 <sup>ef</sup>	57.83 <sup>g</sup>	0.1 <sup>bd</sup>	37.18 <sup>cd</sup>	0.535 <sup>fg</sup>	0.765 <sup>df</sup>	0.115 <sup>g-i</sup>
19		9.0 <sup>a</sup>	74.33 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a-c</sup>	45.36 <sup>a</sup>	0.44 <sup>fg</sup>	0.625 <sup>df</sup>	0.115 <sup>g-i</sup>
20		6.6 <sup>fg</sup>	55.16 <sup>i</sup>	0.11 <sup>b-d</sup>	36.42 <sup>cd</sup>	0.445 <sup>fg</sup>	0.64 <sup>df</sup>	0.07 <sup>i</sup>
1		7.5 <sup>d-e</sup>	61.83 <sup>ef</sup>	0.11 <sup>a-f</sup>	38.35 <sup>b-e</sup>	1.39 <sup>a-h</sup>	1.905 <sup>a-c</sup>	0.305 <sup>b-h</sup>
2		5.16 <sup>m</sup>	43.83 <sup>r</sup>	0.073 <sup>h-l</sup>	30.28 <sup>l-o</sup>	1.825 <sup>a-f</sup>	2.35 <sup>ab</sup>	0.38 <sup>a-c</sup>
3		4.5 <sup>n</sup>	39.3 <sup>s</sup>	0.067 <sup>j-l</sup>	27.0 <sup>o</sup>	2.11 <sup>a-d</sup>	2.94 <sup>a-c</sup>	0.355 <sup>a-e</sup>
4		6.33 <sup>g-i</sup>	54.0 <sup>jk</sup>	0.091 <sup>c-l</sup>	34.4 <sup>e-k</sup>	2.155 <sup>a-c</sup>	3.02 <sup>a-c</sup>	0.430 <sup>ab</sup>
5		6.0 <sup>i-j</sup>	49.67 <sup>m</sup>	0.08 <sup>e-l</sup>	33.85 <sup>f-l</sup>	2.260 <sup>ab</sup>	3.130 <sup>a-b</sup>	0.570 <sup>a</sup>
6		6.66 <sup>f-g</sup>	53.50 <sup>kl</sup>	0.0795 <sup>f-l</sup>	34.17 <sup>f-l</sup>	1.22 <sup>a-h</sup>	1.75 <sup>a-c</sup>	0.305 <sup>b-h</sup>
7		8.5 <sup>a-c</sup>	71.0 <sup>b</sup>	0.1350 <sup>a</sup>	42.1833 <sup>ab</sup>	1.39 <sup>a-h</sup>	1.99 <sup>a-d</sup>	0.36 <sup>a-d</sup>
8		6.66 <sup>f</sup>	55.16 <sup>ij</sup>	0.08 <sup>e-l</sup>	33.5 <sup>f-l</sup>	0.83 <sup>c-h</sup>	1.15 <sup>cd</sup>	0.16 <sup>c-i</sup>
9		5.33 <sup>lm</sup>	43.83 <sup>r</sup>	0.065 <sup>kl</sup>	30.1 <sup>l-o</sup>	0.91 <sup>b-h</sup>	1.29 <sup>b-d</sup>	0.18 <sup>c-i</sup>
10	تنش آبی Water Deficit	7.0 <sup>ef</sup>	56.3 <sup>h-k</sup>	0.1 <sup>c-k</sup>	36.9 <sup>c-g</sup>	0.8 <sup>c-h</sup>	1.15 <sup>cd</sup>	0.175 <sup>c-i</sup>
11		7.5 <sup>de</sup>	61.3 <sup>ef</sup>	0.10 <sup>b-i</sup>	37.46 <sup>c-f</sup>	0.53 <sup>f-h</sup>	0.725 <sup>d</sup>	0.09 <sup>hi</sup>
12		5.16 <sup>m</sup>	43.5 <sup>r</sup>	0.077 <sup>gh</sup>	29.40 <sup>m</sup>	1.43 <sup>a-c</sup>	1.99 <sup>a-c</sup>	0.34 <sup>bf</sup>
13		8.16 <sup>c</sup>	66.3 <sup>cd</sup>	0.112 <sup>a-c</sup>	40.05 <sup>bc</sup>	1.007 <sup>ac</sup>	1.41 <sup>a-c</sup>	0.181 <sup>c-i</sup>
14		6.66 <sup>fg</sup>	55.5 <sup>ij</sup>	0.1 <sup>bc</sup>	33.82 <sup>f-h</sup>	0.85 <sup>c-e</sup>	1.175 <sup>ef</sup>	0.205 <sup>c-i</sup>
15		4.5 <sup>n</sup>	37.5 <sup>s</sup>	0.061 <sup>l</sup>	26.88 <sup>o</sup>	0.52 <sup>fh</sup>	0.705 <sup>df</sup>	0.109 <sup>hi</sup>
16		5.5 <sup>k</sup>	46.5 <sup>qr</sup>	0.085 <sup>ef</sup>	31.95 <sup>ij</sup>	1.24 <sup>ac</sup>	1.6 <sup>a-d</sup>	0.24 <sup>b-i</sup>
17		5.33 <sup>lm</sup>	43.66 <sup>r</sup>	0.07 <sup>ij</sup>	28.7 <sup>n</sup>	0.67 <sup>ef</sup>	0.97 <sup>df</sup>	0.15 <sup>c-i</sup>
18		6.0 <sup>ij</sup>	50.33 <sup>m</sup>	0.08 <sup>ef</sup>	31.1 <sup>jk</sup>	0.4 <sup>gh</sup>	0.38 <sup>ef</sup>	0.065 <sup>i</sup>
19		8.16 <sup>c</sup>	66.16 <sup>d</sup>	0.109 <sup>a-c</sup>	38.36 <sup>bc</sup>	0.295 <sup>h</sup>	0.545 <sup>df</sup>	0.075 <sup>i</sup>
20		5.66 <sup>jk</sup>	47.0 <sup>pq</sup>	0.068 <sup>jk</sup>	30.85 <sup>kl</sup>	0.2 <sup>h</sup>	0.295 <sup>f</sup>	0.05 <sup>i</sup>

\*میانگین‌هایی با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد با هم ندارند.

\*Means with common letters in each column do not have a significant difference at the level of 1%.

مختلفی از آل‌های مقاوم به خشکی را دارند (Eftekhari et al., 2020).

#### نتیجه‌گیری نهایی

آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داد که کمبود آب بر کلیه صفات مورفولوژی ارزیابی‌شده و عملکرد تأثیر می‌گذارد. از آنجاکه یافته‌های آزمایش نشان داد که ژنوتیپ‌های ۵ و ۷ در شرایط کمبود آب و شرایط طبیعی عملکرد بالایی دارند، لذا ژنوتیپ‌های ۵ و ۷ برای تولید سیب‌زمینی با عملکرد بالا مناسب می‌باشند. در شرایط تنش خشکی، آنالیز PCA و خوشه‌بندی ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های متحمل و حساس در گروه‌های مشابه گروه‌بندی شده‌اند. انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل بر اساس ترکیبی از شاخص‌های تحمل می‌تواند معیارهای مفیدی برای اصلاح ژنتیکی انواع ارقام سیب‌زمینی متحمل به خشکی فراهم کند. این نتایج به انتخاب غیرمستقیم ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف کمک می‌کند. ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۷ و ۱۲ به‌طور کلی نسبت به خشکی مقاوم بودند و به همین ترتیب می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های تولید سیب‌زمینی استفاده کرد.

بر اساس صفات مورفولوژیکی در شرایط تنش کم‌آبایی، ژنوتیپ ۷ بیشترین مقدار را برای صفات تعداد ساقه (۸/۵)، ارتفاع گیاه (۷۱ سانتی‌متر)، وزن خشک (۰/۱۳۵ گرم) و محتوای کلروفیل (۱۸/۴۲) داشت. کمترین عملکرد بذری و عملکرد قابل‌فروش به ترتیب مربوط به ژنوتیپ ۱۵ (۰/۲) و کیلوگرم در مترمربع، (۰/۷۰۵ کیلوگرم در مترمربع) و (۰/۱۰۹ کیلوگرم در مترمربع) بود. علاوه بر این، کمترین عملکرد خوراکی مربوط به ژنوتیپ ۲۰ با میزان ۰/۰۵ کیلوگرم در مترمربع بود. ژنوتیپ ۱۵ کمترین مقدار را برای صفات تعداد ساقه (۴/۵)، ارتفاع گیاه (۳۷/۵ سانتی‌متر)، وزن خشک (۰/۰۶۱ گرم) و محتوای کلروفیل (۲۶/۸۸) داشت (جدول ۴). گیاهان سیب‌زمینی با کاهش عملکرد و کیفیت غده‌ها به تنش خشکی پاسخ می‌دهند. کمبود آب برای شروع تشکیل غده و رشد غده بسیار مهم بوده، بنابراین، شرایط کمبود آب سرعت رشد را کاهش می‌دهد (Tourneux et al., 2003). باتوجه به اهمیت تنش خشکی، شناسایی مکانیسم‌های مولکولی مقاومت گیاه با استفاده از ژن‌های مقاومت به خشکی/ تحمل در سیب‌زمینی ضروری است که با انتقال آن‌ها به ارقام سیب‌زمینی می‌توان ژنوتیپ‌های متحمل ایجاد کرد. به دلیل منشأ متنوع ژنوتیپ‌ها، این ژنوتیپ‌ها احتمالاً انواع

#### منابع

- Anithakumari, A.M., Nataraja, K.N., Visser, R.G., Van der Linden, C.G., 2012. Genetic dissection of drought tolerance and recovery potential by quantitative trait locus mapping of a diploid potato population. *Molecular Breeding*. 30, 1413-1429.
- Bartlett, MK., Scoffoni, C., Ardy, R. Zhang, Y., Sun, S., Cao, K., 2012. Rapid determination of comparative drought tolerance traits: using an osmometer to predict turgor loss point. *Methods in Ecology and Evolution*. 3, 880-888.
- Dalal, VK., Tripathy, BC., 2012. Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis. *Plant. Cell and Environment*. 35, 1685-703.
- Eftekhari, A., Baghizadeh, A., Abdoshahi, R., Yaghoubi, M.M., 2020. Evaluation of grain yield, agronomical traits and drought tolerance indices in some bread wheat cultivars. *Journal of Crop Breeding*. 32, 11-21. [In Persian with English summary].
- Hill, D., Nelson, D., Hammond, J., Bell, L., 2020. Morphophysiology of potato (*Solanum tuberosum*) in response to drought stress: paving the way forward. *Frontiers in Plant Science*. 11, 597554.
- Iwama, K., 2008. Physiology of the potato: new insights into root system and repercussions for crop management. *Potato Research*. 51, 333-353.
- Kooistra, L., Clevers, J.G., 2016. Estimating potato leaf chlorophyll content using ratio vegetation indices. *Remote Sensing Letters*. 7, 611-620.
- Lahlou, O., Ouattar, S., Ledent, J.F., 2003. The effect of drought and cultivar on growth parameters. Yield and yield components of potato. *Agronomie*. 23, 257-268.
- Lipkovich, I.A., Smith, E.P., 2002. Biplot and singular value decomposition macros for excel. *Journal of Statistics Software*. 7, 1-14.

- Martínez, I., Muñoz, M., Acuña, I., Uribe, M., 2021. Evaluating the drought tolerance of seven potato varieties on volcanic ash soils in a medium-term trial. *Frontiers in Plant Science*. 12, 1238.
- Martínez-Romero, A., Domínguez, A., Landeras, G., 2019. Regulated deficit irrigation strategies for different potato cultivars under continental Mediterranean-Atlantic conditions. *Agricultural Water Management*. 216, 164-176.
- Mbava, N., Mutema, M., Zengeni, R., Shimelis, H., Chaplot, V., 2020. Factors affecting crop water use efficiency: A worldwide meta-analysis. *Agricultural Water Management*. 228.105878.
- Mihaljević, I., Viljevac Vuletić, M., Šimić, D., Tomaš, V., Horvat, D., Josipović, M., Zdunić, Z., Dugalić, K., Vuković, D., 2021. Comparative study of drought stress effects on traditional and modern apple cultivars. *Plants*. 10, 561.
- Mark, T., Peter, L., 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*. 327, 818-822. 10.1126/science.1183700
- Mauromicale, G., Ierna, A., Marchese, M., 2006. Chlorophyll fluorescence and chlorophyll content in field-grown potato as affected by nitrogen supply, genotype, and plant age. – *Photosynthetica*. 44, 76-82.
- Samace, M., Modares Sanavi, A.M., Mousapour Gorji, A., Zand, E., 2016. Water use efficiency and water productivity in potato genotypes under water stress conditions. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*. 6, 15-32. [In Persian with English summary].
- Strasser, R.J., Srivastava, A., Tsimilli-Michael, M., 2000. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *Probing photosynthesis: mechanisms. Regulation and adaptation*. 445-483.
- Tourneux, C., Devaux, A., Camacho, M., Mamani, P., Ledent, J.F., 2003. Effects of water shortage on six potato genotypes in the highlands of bolivia (I): morphological parameters. *Growth and yield. Agronomie*. 23, 169-179.
- Yactayo, W., Ramírez, D.A., Gutiérrez, R., Mares, V., Posadas, A., Quiroz, R., 2013. Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*. 123, 65-70.
- Yaghotipoor, A., Farshadfar, E., Saeidi, M., 2017. Evaluation of phenotypic stability in bread wheat accessions using parametric and non-parametric methods. *Journal of Animal & Plant Sciences*. 27, 1269-1275.
- Zain, N.A.M., Ismail, M.R., Mahmood, M., Puteh, A., Ibrahim, M.H., 2014. Alleviation of water stress effects on MR220 rice by application of periodical water stress and potassium fertilization. *Molecules*. 19, 1795-1819.