

Evaluation of drought stress tolerance indices of three quinoa cultivars in spring and summer planting dates in Birjand and Sarbisheh region

F. Golestanifar¹, S. Mahmoodi^{2,3*}, H.R. Fallahi^{2, 3}, A. Shahidi⁴

1. PhD Students, University of Birjand, Iran

2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, University of Birjand, Iran

3. Plant and Environmental Stresses Research Group, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran

4. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Iran

Received 3 November 2022; Accepted 26 February 2023

Extended abstract

Introduction

Environmental disorders that significantly disturb the growth and yield of plants are considered as stress conditions and cause disturbances in biological. Drought stress is one of these environmental conditions which has been increased as a result of climate change and has been a negative effect on the yield of crops in the world. Every year about 12 million hectares of productive land has become dry and barren due to human activities and climate. More than 6000 varieties of quinoa are cultivated by farmers in the worlds. Quinoa is a plant responds to drought stress through escape, tolerance and avoidance of drought and has an extraordinary capacity for cultivation in dry and low-water soils because of its capabilities such as low inherent need for water, the maintenance of leaf surface and the ability to resume the speed of photosynthesis after drought stress. Titicaca, Redcarina and Giza-1 are three quinoa cultivars. Titicaca and Redcarina, were registered on December 14, 2009 and January 31, 2005, respectively, and are native to Denmark and Netherlands, respectively, and Giza1 is native to Egypt. Increasing yield in water deficit conditions requires the identification of genotypes resistant to drought stress. Different quantitative indicators have been provided to evaluate the reaction of genotypes in environmental conditions and also to determine their tolerance and sensitivity.

Materials and methods

In order to evaluate the indicators of drought stress tolerance of quinoa cultivars, a factorial experiment with four stress levels (100, 75, 50 and 25% of water requirement) and three varieties of quinoa (Titicaca, Giza-1 and Redcarina) were conducted with three replications in two locations (Birjand and Sarbisheh region) and two planting dates, spring (March) and summer (July) in 2018 and 2019. Evaluation of cultivars in terms of drought tolerance was done using stress sensitivity indices, such as tolerance (TOL), mean productivity (MP), stress tolerance index (STI), geometric mean productivity (GMP) and harmonic mean (HM). Decomposition into main components on yield under stress and non-stress conditions and drought stress tolerance indices were displayed in the form of a biplot diagram using STATISTICA software.

* Corresponding author: Sohrab Mahmoodi; E-Mail: smahmoodi@birjand.ac.ir



Results and discussion

The results showed that in both regions the highest amount of STI, MP, GMP and HM indices, were recorded for Redcarina variety in all three levels of drought stress at spring cultivation, but they were belonged to Giza-1 at summer cultivation. Due to the dispersion of the results, SSI and TOL indices had less diagnostic power to evaluate the drought tolerance of quinoa cultivars. Principal components analysis showed that Redcarina cultivar was collinear with yield vector in stress condition and MP, GMP, STI and HM indicators and was located in yield potential and tension tolerant area in bi-plot diagram in two regions (Birjand and Sarbisheh) at spring cultivation. In summer cultivation, Giza-1 variety was located at sensitive to stress area and yield potential in bi-plot diagram and was collinear with grain yield vectors in non-stress conditions and MP, GMP, STI and HM indices in two regions. This showed the more yield of this variety in non-stress condition. In most of the planting dates and places were studied, Titicaca cultivar had collinearity with SSI vector or located at the closest position to this vector, which indicated that this cultivar was sensitive to stress.

Conclusion

In general, in July, Giza-1 variety and in March Redcarina variety were the most tolerance varieties and Titicaca was most sensitive cultivar to drought stress.

Keywords: Bi-plot, Grain yield, Principal components analysis, Water requirement

بررسی شاخص‌های تحمل تنش خشکی سه رقم کینوا در دو تاریخ کاشت بهاره و تابستانه در منطقه بیرجند و سریشه

فرزانه گلستانی‌فر^۱، سهراب محمودی^{۲*}، حمیدرضا فلاحی^۳، علی شهیدی^۴

۱. دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه بیرجند

۲. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه بیرجند

۳. عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند

۴. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: بای پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی عملکرد دانه نیاز آبی	به‌منظور بررسی شاخص‌های تحمل تنش خشکی ارقام کینوا، چهار آزمایش مجزا (شامل دو تاریخ کاشت بهاره و تابستانه در دو منطقه بیرجند و سریشه) مورد مطالعه قرار گرفت که هر یک از آن‌ها به‌صورت فاکتوریل (فاکتورها عبارت‌اند از چهار سطح رطوبتی ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی و سه رقم کینوا به نام تیتیکاکا، گیزاوان و ردکارینا) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید و از طریق تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی ارقام از نظر تحمل خشکی با استفاده از شاخص تحمل (TOL)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین حساسی بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و میانگین هارمونیک (HM) انجام گرفت. نتایج نشان داد که بالاترین میزان شاخص‌های STI، MP، GMP و HM در کشت اسفندماه، در هر دو شهرستان متعلق به رقم ردکارینا و در کشت مردادماه متعلق به رقم گیزاوان بود و شاخص‌های SSI و TOL با توجه به پراکندگی نتایج، قدرت تشخیص کمتری در ارزیابی تحمل خشکی ارقام کینوا داشتند. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز نشان داد که در کشت اسفندماه در هر دو مکان، رقم ردکارینا در راستای بردار عملکرد دانه در شرایط تنش و شاخص‌های STI، GMP، MP و HM در ناحیه پتانسیل عملکرد و متحمل به تنش قرار گرفت. در کشت مردادماه در هر دو مکان، رقم گیزاوان در ناحیه حساس به تنش و در راستای بردارهای عملکرد دانه و شاخص‌های STI، GMP، MP و HM قرار داشت که نشان‌دهنده بالاتر بودن عملکرد این رقم در شرایط بدون تنش و تحمل آن‌ها در شرایط کمبود آب بود. در این مطالعه، رقم تیتیکاکا در راستای بردار SSI قرار گرفت که نشان‌دهنده حساس بودن این رقم به تنش بود. به‌طور کلی در مردادماه، رقم گیزاوان و در اسفندماه رقم ردکارینا، متحمل‌ترین ارقام نسبت به تنش خشکی بودند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷	
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۲ ۳۰۱-۲۸۷ (۲): ۱۷	

مقدمه

از اراضی تولیدی به دلیل فعالیت‌های انسانی و تغییر اقلیم، خشک و بی‌حاصل گردیده است (Jaikishun et al., 2019) به نقل از United Nations Convention to Combat Desertification, 2019). تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده، سبب کاهش تولید محصول و

اختلالات محیطی که به‌طور معنی‌داری رشد و عملکرد گیاه را مختل می‌نمایند، به‌عنوان شرایط تنش مطرح‌شده و سبب اختلال در سیستم‌های بیولوژیکی می‌گردند (Laxa et al., 2019). یکی از شرایط محیطی که در نتیجه تغییر اقلیم افزایش می‌یابد، تنش خشکی است که تأثیر منفی بر عملکرد محصولات در جهان دارد و سالیانه حدود ۱۲ میلیون هکتار

سطح برگ به افزایش تنش خشکی پاسخ دادند (Fghire et al., 2017). عیسی‌علی و همکاران (Issa Ali et al., 2019) با بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی دو رقم کینوا (Illpa و Rainbow) در شرایط تنش خشکی بیان کردند که با افزایش تنش خشکی، رشد، زیست‌توده، تراکم روزه‌ها و وضعیت آب برگ به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. در مطالعه‌ای دیگر در مصر، در بررسی سه رژیم آبیاری مطلوب، تنش متوسط و تنش شدید آب (معادل ۹۵، ۶۵ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی) و پنج ژنوتیپ کینوا، تنش رطوبتی موجب کاهش معنی‌دار در تمام صفات مورد مطالعه به‌جز طول ریشه و کارایی مصرف آب در گیاه کینوا شد (Al-Naggar et al., 2017).

تحمل به تنش خشکی در گیاهان، حاصل فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و فنولوژیکی است که می‌توانند واکنش گیاه در مقابل تنش خشکی را تعیین نمایند (Passioura, 2007). افزایش عملکرد گیاهان در شرایط کمبود آب، مستلزم شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم گیاه به تنش خشکی است و بر همین اساس شاخص‌های کمی متفاوتی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی نامساعد در جهت تعیین تحمل و حساسیت آن‌ها ارائه گردیده است (Passioura, 2006). گلستانی و پاک‌نیت (Golestani and Pak Niyat, 2007) در بررسی لاین‌های کنجد بیان کردند که از بین شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص تحمل (TOL) با عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب، همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت و برای غربال کردن ارقام متحمل به تنش خشکی در شرایط آبیاری مطلوب، مناسب است در حالی که شاخص حساسیت به تنش (SSI) همبستگی منفی معنی‌داری با عملکرد دانه فقط در شرایط تنش کم‌آبی داشت. در بررسی ژنوتیپ‌های گندم نیز، شاخص SSI به همراه دو شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) به‌عنوان بهترین شاخص‌ها بودند (Sadeghi Shua et al., 2012). جباری و همکاران (Jabbari et al., 2008) نیز اظهار داشتند که در هر دو تیمار شدید و متوسط، فقط شاخص STI به دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه، برای شناسایی هیبریدهای پرمحصول و متحمل به تنش در آفتابگردان مؤثر بود. در بررسی شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی با کمک نمودار

تضعیف امنیت غذایی جهان می‌گردد (Lamaoui et al., 2018).

در سطح جهانی بیش از ۶۰۰۰ واریته از کینوا توسط کشاورزان کشت می‌گردد و در بولیوی، پرو، آرژانتین، اکوادور و کلمبیا به ترتیب ۶۷۲۱، ۶۳۰۲، ۴۹۲، ۶۷۳ و ۲۸ شماره دسترسی^۱ از کینوا در بانک ژن بذر نگه‌داری و محافظت می‌گردد (Rojas et al., 2015). یکی از ارقامی که بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته، رقم تیتیکاکا نام دارد (Bazile et al., 2016a). ارقام تیتیکاکا و ردکارینا به ترتیب در تاریخ‌های ۱۴ دسامبر ۲۰۰۹ و ۳۱ ژانویه ۲۰۰۵ ثبت شده‌اند و به ترتیب بومی دانمارک و هلند می‌باشند (Jacobsen, 2017) و رقم گیزاوان بومی مصر است (Bazile et al., 2016b). ارقام تیتیکاکا، گیزاوان و ردکارینا نسبت به طول روز بی‌تفاوت می‌باشند و امکان کشت بهاره، تابستانه و پاییزه آن‌ها وجود دارد. ارقام تیتیکاکا و گیزاوان جزء ژنوتیپ‌های زودرس بوده و طول دوره رسیدگی آن‌ها، حدود ۸۵ تا ۱۰۰ روز است، ولی رقم ردکارینا ژنوتیپ متوسط‌رس بوده و در دوره زمانی ۱۱۰ تا ۱۳۰ روزه قابل‌برداشت است. ژنوتیپ‌های زراعی کینوای موجود در کشور با توجه به منطقه و زمان کاشت، طول دوره رشدی حدود ۸۰ تا ۱۷۰ روز را دارا هستند، به‌عنوان مثال طول دوره رشد رقم تیتیکاکا در کشت خرداد در شهرکرد، ۸۳ روز و در کشت دی‌ماه در ایرانشهر ۱۲۰ روز گزارش شده است (Bagheri, 2018). کینوا ظرفیتی فوق‌العاده جهت کشت در خاک‌های خشک و کم‌آب را داراست زیرا دارای قابلیت‌هایی از قبیل نیاز ذاتی پایین به آب، توانایی ازسرگیری سریع فتوسنتز و همچنین حفظ سطح برگ پس از دوره خشکی است. همچنین کینوا به تنش خشکی از طریق فرار، تحمل و اجتناب از خشکی پاسخ می‌دهد (Jacobsen et al., 2009). در بررسی غلامی و همکاران (Gholami et al., 2021) بین ژنوتیپ‌های مختلف گیاه کینوا (گیزاوان و تیتیکاکا) از نظر تحمل به تنش خشکی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در مطالعه‌ای دیگر که پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی شش رقم کینوا به تنش آبی در شرایط مزرعه در چهار تیمار آبیاری (۱۰۰، ۵۰ و ۳۳ درصد نیاز آبی و کشت دیم)، مورد بررسی قرار گرفت؛ نتایج نشان داد که شش ژنوتیپ، در تحمل تنش خشکی متفاوت بودند و ژنوتیپ‌های متحمل L143 و L119 از طریق کاهش پتانسیل آب برگ، هدایت روزه‌ای و شاخص

¹ Accessions number

سربیشه در ۵ مردادماه و ۱۸ اسفندماه ۱۳۹۸ و در شهرستان بیرجند در ۱۵ اسفندماه ۱۳۹۸ و ۱۸ مردادماه ۱۳۹۹ بود. در این تحقیق چهار آزمایش مجزا مورد بررسی قرار گرفت که هر یک از آن‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل چهار سطح مختلف رطوبتی (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و فاکتور دوم شامل سه رقم کینوا (تیتیکاکا، گیزاوان و ردکارینا) بود. بذور ارقام گیزاوان و ردکارینا (به ترتیب با وزن هزار دانه $1/56 \pm 0/26$ و $1/59 \pm 0/42$ گرم) از موسسه اصلاح نهال و بذر کشور و بذور رقم تیتیکاکا (با وزن هزار دانه $1/53 \pm 0/29$ گرم) از اداره جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی در سال ۱۳۹۸ تهیه شد. اعمال تیمار آبیاری بر اساس حجم آب آبیاری (هر هفت روز یکبار) در هر مرحله رشدی با توجه به نیاز آبی گیاه انجام و از کنتور حجمی جهت اعمال دقیق سطوح مختلف آبیاری استفاده گردید. سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی به عنوان سطح بدون تنش در نظر گرفته شد.

عملیات آماده‌سازی زمین در هر دو زمان و دو مکان، حداقل یک هفته قبل از کاشت صورت گرفت. بدین منظور ابتدا زمین توسط گاواهن برگردان‌دار شخم زده و سپس توسط دیسک، کلوخه‌ها خرد و زمین توسط لولر، تسطیح گردید. ابعاد هر کرت سه در چهار متر بود و یک متر فاصله بین کرت‌ها به عنوان اثر حاشیه‌ای و تعداد ۶۰ بوته در مترمربع، به عنوان تراکم مطلوب کاشت کینوا (Samadzadeh et al., 2020) در نظر گرفته شد. پس از سبز شدن و رشد اولیه گیاهچه‌ها، دو مرحله تنک، جهت رسیدن به تراکم موردنظر صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور انجام و میزان آب ورودی به هر کرت توسط کنتور حجمی دقیق اندازه‌گیری شد. قبل از اعمال سطوح رطوبتی، آبیاری به صورت سنگین و پس از اعمال، بر اساس نیاز آبی کینوا بود. در طول فصل رشد، کنترل‌های مربوط به آفات، بیماری‌ها و مبارزه با علف‌های هرز صورت گرفت. در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی در هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای (۵۰ سانتی-متر از اطراف) برداشت انجام شد و پس از آن، بوته‌ها هوا خشک و بذور از کاه و کلش جدا گردید و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد.

بای پلات در هیبریدهای ذرت دانه‌ای، در تنش میانی و انتهایی رشد، بیشترین تغییرات موردنظر بین داده‌ها توسط دو مؤلفه اول (به ترتیب ۹۹/۹۳۵ و ۹۹/۹۷۷ درصد برای تنش میانی و انتهایی) توجیه شد و مؤلفه اول به ترتیب ۵۹/۱۰۹ و ۶۶/۵۷۵ درصد و مؤلفه دوم به ترتیب ۴۰/۸۲۶ و ۳۳/۴۰۲ درصد از کل تغییرات را برای تنش میانی و انتهایی رشد توجیه کردند (Ahmadi et al., 2000). در مطالعه‌ای بر روی گندم گزارش گردید که دو مؤلفه اول بیشترین درصد تغییرات داده‌ها (۹۹/۳ درصد) را توجیه کردند. مؤلفه اول با شاخص‌های SSI و TOL همبستگی منفی و با عملکرد و سایر شاخص‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش همبستگی مثبت داشت و مؤلفه دوم ۳۷/۶ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با شاخص‌های SSI و TOL همبستگی منفی و با عملکرد دانه در شرایط تنش همبستگی مثبت داشت (Yousofi Azar and Rezai, 2008). دانشیان و احمدی (Daneshian and Ahmadi, 2023) در لاین‌های منتخب سویا از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده نمودند.

تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که یکی از روش‌های مناسب بررسی تحمل ارقام گیاهان به تنش‌ها، ارزیابی شاخص‌های تحمل تنش است. لذا هدف از این مطالعه، ارزیابی ارقام متحمل به تنش خشکی کینوا به کمک شاخص‌های تحمل به تنش جهت کشت بهاره و تابستانه، در شهرستان‌های بیرجند و سربیشه، از طریق تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در دو مکان شامل شهرستان‌های بیرجند (مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، در فاصله ۵ کیلومتری غرب شهرستان بیرجند در مسیر جاده بیرجند-کرمان، مجاور روستای امیرآباد با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ دقیقه و ۱۳ درجه شرقی با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریاهای آزاد) و سربیشه (چاه شماره سه واقع در دشت سربیشه، در فاصله ۶۵ کیلومتری شرق شهرستان بیرجند در مسیر جاده بیرجند-زاهدان، روبه‌روی کارخانه‌ی شرکت تهیه و توزیع مواد نسوز کشور با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ دقیقه و ۸۰ درجه شرقی با ارتفاع ۱۸۳۹ متر از سطح دریاهای آزاد) و دو زمان (نیمه اول مردادماه و نیمه دوم اسفندماه) اجرا گردید. زمان کاشت در شهرستان

با توجه به اینکه مقادیر کمتر شاخص‌های SSI و TOL و مقادیر بیشتر شاخص‌های MP، STI، GMP و HM، نشان-دهنده میزان بیشتر مقاومت یا تحمل خشکی در گیاه است، شاخص‌های مذکور در دو گروه مورد بررسی قرار گرفت:

الف) شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) و تحمل (TOL) پایین بودن میزان شاخص SSI نشان‌دهنده تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط مطلوب و در نتیجه پایداری بیشتر آن ژنوتیپ است (Zakavati Asl et al., 2012). بر اساس نتایج به دست آمده، کمترین میزان شاخص SSI در تمامی سطوح تنش خشکی در کشت مردادماه شهرستان بیرجند و مربوط به رقم ردکارینا بود. در کشت اسفندماه هر دو شهرستان، کمترین میزان این شاخص در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی متعلق به رقم ردکارینا و در دو سطح دیگر تنش خشکی (۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی) متعلق به رقم گیزاوان بود. در کشت مردادماه شهرستان سربیشه، نتایج مربوط به این شاخص در سطوح مختلف تنش بسیار متفاوت بود. مقادیر بالای شاخص TOL نشان‌دهنده حساسیت بیشتر به خشکی بوده و در نتیجه، مقادیر پایین این شاخص، مطلوب است. نتایج نشان داد که در تمامی سطوح تنش خشکی، کمترین میزان شاخص TOL در کشت مردادماه شهرستان سربیشه و کشت اسفندماه شهرستان بیرجند، متعلق به رقم تیتیکاکا و در کشت اسفندماه شهرستان سربیشه و کشت مردادماه شهرستان بیرجند، متعلق به رقم ردکارینا بود (جدول ۱ و ۲). بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳، به‌طور کلی شاخص‌های SSI و TOL دارای همبستگی منفی غیرمعنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط تنش و همبستگی مثبت (غیرمعنی‌دار در SSI و معنی‌دار در TOL) با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش بودند.

شاخص حساسیت به تنش بر اساس نسبت عملکرد یک رقم در شرایط تنش به شرایط بدون تنش در مقایسه با این نسبت در کل ارقام سنجیده می‌شود، در نتیجه دو رقم با عملکرد زیاد و کم در هر دو محیط، می‌توانند مقادیر SSI یکسانی داشته باشند، لذا انتخاب بر اساس این شاخص، اصلاح‌گران را گمراه می‌کند (Naemi et al., 2009). قدرت تشخیص کمتر بر اساس شاخص SSI در منابع دیگر نیز مشاهده شده و انتخاب بر اساس این شاخص صرفاً باعث

جهت مقایسه ارقام مورد مطالعه با استفاده از شاخص‌های تحمل تنش از قبیل شاخص حساسیت به تنش (SSI^1)، شاخص تحمل (TOL^2)، متوسط محصول دهی یک ژنوتیپ در هر دو شرایط تنش و غیر تنش یا میانگین حسابی بهره‌وری (MP^3)، شاخص تحمل به تنش (STI^4)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP^5) و میانگین هارمونیک (HM^6) از طریق روابط یک تا هفت استفاده شد:

(Fischer and Maurer, 1978):

$$SSI = \frac{1 - (Yp/Ys)}{SI} \quad [1]$$

$$SI = 1 - \left(\frac{Ys}{Yp} \right) \quad [2]$$

(Rosielle and Hambelen, 1981):

$$TOL = Yp - Ys \quad [3]$$

(Rosielle and Hambelen, 1981):

$$MP = \frac{Yp + Ys}{2} \quad [4]$$

(Fernandez, 1992):

$$STI = \left(\frac{p}{Yp} \right) \left(\frac{Ys}{Ys} \right) \left(\frac{Ys}{Yp} \right) = \frac{(Yp)(Ys)}{(Yp)^2} \quad [5]$$

(Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{(s)(Yp)} \quad [6]$$

(Bidinger et al., 1987):

$$HM = \frac{(Yp * Ys)}{Yp + Ys} \quad [7]$$

که در روابط فوق، SI: شدت تنش خشکی، Yp: متوسط عملکرد ژنوتیپ مورد نظر در شرایط بدون تنش، Ys: متوسط عملکرد ژنوتیپ مورد نظر در شرایط تنش، \bar{Yp} : متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، \bar{Ys} : متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش است.

جهت انجام محاسبات (به‌صورت مجزا در هر سطح تنش خشکی) از نرم‌افزار Excel استفاده شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های تحمل خشکی با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA انجام و به‌صورت نمودار بای‌پلات نمایش داده شد.

نتایج و بحث

تحلیل شاخص‌های کمی تحمل و همبستگی آن‌ها با عملکرد

⁴ Stress Tolerance Index

⁵ Geometric Mean of Productivity

⁶ Harmonic Mean

¹ Stress Susceptibility Index

² Tolerance

³ Mean of Productivity

ب) شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین حسابی بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و میانگین هارمونیک (HM) بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بالاترین میزان شاخص‌های مذکور در هر سه سطح تنش خشکی، در کشت اسفندماه در هر دو شهرستان بیرجند و سربیشه، متعلق به رقم ردکارینا و در کشت مردادماه در هر دو شهرستان متعلق به رقم گیزاوان بود. لذا می‌توان نتیجه گرفت که در مردادماه، رقم گیزاوان در اسفندماه رقم ردکارینا، متحمل‌ترین ارقام نسبت به تنش خشکی می‌باشند (جداول ۱ و ۲). شاخص‌های GMP، MP، STI و HM دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط تنش (YS) و بدون تنش (YP) (جدول ۳) بودند. شاخص MP می‌تواند ارقام متحملی که دارای عملکرد بالایی هستند را هم در محیط تنش و هم شرایط بدون تنش متمایز کند. شاخص GMP در مقایسه با MP در تفکیک ژنوتیپ‌ها از قدرت بالاتری برخوردار است. ژنوتیپ‌های پایدارتر دارای STI بالاتری هستند و این شاخص برای ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و غیرتنش از لحاظ عملکرد برتری دارند، قابلیت تشخیص دارد (Zakavati Asl et al., 2012).

انتخاب ژنوتیپ متحمل به تنش اما با عملکرد پایین می‌گردد (Zakavati Asl et al., 2012). به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که تنها پایین بودن شاخص‌های SSI و TOL برای یک ژنوتیپ، به‌منزله مناسب بودن آن جهت کشت در شرایط تنش و بالا بودن میزان عملکرد و پایین بودن میزان حساسیت به تنش، نیست زیرا ژنوتیپ‌هایی یافت می‌شوند که فقط دارای حساسیت کم به تنش می‌باشند ولی از لحاظ عملکرد، ژنوتیپ مطلوبی نیستند (Chaghakaboodi et al., 2012). به نقل از (Ramireza and Kelly, 1998). ملاحی‌داری بافقی و همکاران (Molla Heydari Bafghi et al., 2017) همبستگی منفی و معنی‌دار عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را با شاخص‌های SSI و TOL در لاین‌های گندم گزارش کردند درحالی‌که در مطالعه یوسفی‌آذر و رضایی (Yousofi Azar and Rezai, 2008)، شاخص‌های مذکور تنها با عملکرد در شرایط تنش همبستگی منفی داشتند. باین‌حال بلوری و همکاران (Bolori et al., 2011) در مطالعه‌ی خود، شاخص TOL را برای گزینش ارقام آفتابگردان متحمل به تنش خشکی از نظر عملکرد روغن مناسب دانستند.

جدول ۱. مقادیر شاخص‌های تحمل تنش خشکی در ارقام کینوا در سربیشه

Table 1. Drought stress tolerance indices values in quinoa cultivars in Sarbisheh

سطوح تنش stress levels	ارقام Cultivars	Y _S	Y _P	SSI	TOL	MP	STI	GMP	HM	
مرداد July	75%	Giza1	10086.7	11172.6	0.603	1085.9	10629.6	1.990	10576.1	10522.8
		Redcarina	7963.3	9133.3	1.118	1170.0	8548.3	1.263	8494.1	8440.8
		Titicaca	6840.0	7566.7	0.901	726.7	7203.3	0.903	7184.2	7165.1
	50%	Giza1	7336.7	11172.6	0.919	3836.0	9254.6	1.450	9011.3	8777.4
		Redcarina	4916.7	9133.3	0.969	4216.7	7025.0	0.777	6666.7	6333.6
		Titicaca	5250.0	7566.7	0.904	2316.7	6408.3	0.696	6294.6	6183.5
	25%	Giza1	4256.0	11172.6	1.011	6916.6	7714.3	0.881	6887.4	6152.1
		Redcarina	2966.7	9133.3	0.993	6166.7	6050.0	0.475	5182.6	4448.9
		Titicaca	3226.7	7566.7	1.000	4340.0	5396.7	0.430	4938.6	4520.2
اسفند March	75%	Giza1	837.2	1140.1	0.788	302.9	988.6	0.583	976.8	965.2
		Redcarina	968.4	1204.9	0.665	236.5	1086.6	0.697	1080.1	1073.6
		Titicaca	864.9	1227.2	1.002	362.3	1046.0	0.706	1030.1	1014.4
	50%	Giza1	569.5	1140.1	0.974	570.6	854.8	0.391	800.2	750.5
		Redcarina	717.0	1204.9	0.978	423.4	928.7	0.485	901.2	874.9
		Titicaca	438.3	1227.2	0.999	788.8	832.7	0.357	732.8	645.5
	25%	Giza1	280.6	1140.1	0.974	859.5	710.3	0.183	551.1	435.8
		Redcarina	344.1	1204.9	1.000	860.8	774.5	0.248	643.2	534.5
		Titicaca	295.1	1227.2	1.000	932.1	761.1	0.241	601.5	475.5

Y_S: متوسط عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش؛ Y_P: متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش؛ TOL:

تحمل؛ MP: میانگین حسابی بهره‌وری؛ STI: تحمل به تنش؛ GMP: میانگین هندسی بهره‌وری؛ HM: میانگین هارمونیک

YS: Yield under stressed conditions; YP: Yield under non-stressed conditions; SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance MP: Mean of Productivity; STI: Stress Tolerance Index; GMP: Geometric Mean of Productivity; HM: Harmonic Mean

جدول ۲. مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ارقام کینوا در بیرجند

Table 2. Drought stress tolerance indices values in quinoa cultivars in Birjand

سطوح تنش stress levels	ارقام Cultivars	Y _s	Y _p	SSI	TOL	MP	STI	GMP	HM	
مرداد July	75%	Gizal	2794.5	3269.9	0.983	475.4	3032.2	1.413	3022.1	3012.0
		Redcarina	2621.9	2646.7	-0.054	24.8	2634.3	1.087	2630.6	2626.9
		Titicaca	2174.0	2545.7	0.996	371.6	2359.8	0.856	2351.4	2342.9
	50%	Gizal	2178.1	3269.9	1.012	1091.8	2724.0	1.110	2652.6	2585.0
		Redcarina	1813.8	2646.7	0.936	832.9	2230.3	0.744	2184.2	2139.4
		Titicaca	1259.3	2545.7	0.991	1286.4	1902.5	0.494	1785.1	1676.4
	25%	Gizal	1286.0	3269.9	1.002	1983.9	2278.0	0.653	2050.1	1845.2
		Redcarina	1405.9	2646.7	0.973	1240.8	2026.3	0.580	1924.0	1827.6
		Titicaca	1099.3	2545.7	0.991	1446.4	1822.5	0.431	1669.6	1530.5
اسفند March	75%	Gizal	144.19	279.5	1.817	63.6	247.7	2.301	245.3	242.9
		Redcarina	305.16	356.2	0.730	51.0	330.7	3.939	322.4	314.5
		Titicaca	215.9	163.2	1.024	19.0	153.7	0.891	153.3	152.9
	50%	Gizal	181.59	279.5	0.937	97.9	230.5	1.914	224.5	218.7
		Redcarina	221.37	356.2	0.942	134.8	288.8	2.935	279.1	269.9
		Titicaca	114.53	163.2	0.991	48.7	138.9	0.703	136.6	134.4
	25%	Gizal	125.50	279.5	0.962	154.0	205.5	1.309	186.1	171.3
		Redcarina	182.41	356.2	0.937	173.7	269.3	2.438	254.0	239.8
		Titicaca	88.28	163.2	0.988	74.9	125.7	0.538	134.4	113.9

YS: متوسط عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش؛ YP: متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش؛ TOL:

تحمل؛ MP: میانگین حسابی بهره‌وری؛ STI: تحمل به تنش؛ GMP: میانگین هندسی بهره‌وری؛ HM: میانگین هارمونیک

YS: Yield under stressed conditions; YP: Yield under non- stressed conditions; SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance MP: Mean of Productivity; STI: Stress Tolerance Index; GMP: Geometric Mean of Productivity; HM: Harmonic Mean

همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. بلوری و همکاران (Bolori et al., 2011) در بررسی ژنوتیپ‌های گیاه آفتابگردان گزارش نمودند که تنها شاخص‌های GMP و STI برای گزینش ارقام متحمل از نظر عملکرد دانه مناسب می‌باشند که با مطالعات انجام‌شده بر روی نخود (Vandkarimi et al., 2015)، گندم (Nourmand Moayyed et al., 2001) و ذرت دانه‌ای (Ahmadi et al., 2000) هم‌راستا بوده و همچنین بیان نمودند که شاخص HM در شناسایی ارقام متحمل به تنش، بهتر بوده است.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و استفاده از نمودارهای بای-پلات

به‌منظور بررسی رابطه بین شاخص‌های تحمل تنش خشکی با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش رطوبتی (۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی) از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودارهای چند متغیره دوبعدی بای‌پلات استفاده شد. بر اساس مطالعه نورمند مؤید و همکاران (Nourmand Moayyed et al., 2001) بیشترین تغییرات موردنظر بین داده‌ها توسط دو مؤلفه‌ی اول بیان می‌گردد و از آنجایی که مؤلفه‌ی اول تغییراتی را در بر می‌گیرد که توسط مؤلفه‌ی دوم تبیین نمی‌شود و برعکس، لذا این دو مؤلفه درون

شاخص HM نیز یکی دیگر از شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی تحمل به تنش است که مقدار آن بیانگر تحمل به تنش زیاد و پتانسیل عملکرد بالا است. با توجه به مطالعات انجام‌شده در ارزیابی ژنوتیپ‌های جو (Solimani, 2016)، سویا (Vahdi and Gholi Nezhad, 2015)، گندم (Zakavati Asl et al., 2012)، کلزا (Chaghakaboodi et al., 2009; Naeimi et al., 2012)، گزارش شد که شاخص‌های MP، GMP و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط تنش (YS) و بدون تنش (YP) داشتند. مطالعات انجام‌شده در گندم (Khojamli et al., 2022; Bavandpori et al., 2022; Shibani Rad et al., 2017; Kamrani et al., 2015)، نخود (MohammadAli Pouriamchi et al., 2011)، جو (Sabeti et al., 2015) و کنجد (Golestani and Pak, 2007) نیز نشان داد که علاوه بر شاخص‌های فوق، شاخص HM نیز دارای همبستگی مثبت بالایی با عملکردها است. یوسفی آذر و رضایی (Yousefi Azar and Rezai, 2008) در بررسی لاین‌های گندم بیان نمودند که شاخص MP با شاخص‌های GMP، STI و HM و همچنین شاخص GMP با شاخص‌های STI و HM همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و شاخص SSI با HM

شدند. احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2000) نیز بیان نمودند که با استفاده از روش بای پلات می‌توان روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی را در یک شکل واحد رسم کرد و این روش، ابزار مفیدی را برای تجزیه اطلاعات و ارزیابی نظری ساختار یک ماتریس بزرگ دوطرفه امکان‌پذیر می‌سازد. با توجه به نتایج، مؤلفه اول سهم بیشتری از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد (درصد تغییرات در مؤلفه اول و دوم و سهم هر کدام در توجیه واریانس کل، در محورهای نمودارهای بای پلات درج شده است).

یک نمودار به صورت دو محور عمود برهم قرار گرفتند و ارقام به صورت نقطه درون این نمودار مشخص شدند. در نموداری دیگر که مؤلفه اول و دوم محورهای آن بودند، وزن هر شاخص در مؤلفه‌های اول و دوم، به ضریب همبستگی تبدیل و برای هر شاخص، خطوطی ترسیم شد. زاویه کمتر از ۹۰ درجه بین خطوط نشان‌دهنده همبستگی مثبت و بیشتر از ۹۰ درجه، نشان‌دهنده همبستگی منفی است. در نهایت دو نمودار فوق از لحاظ مقیاس، هم‌ارز و بر یکدیگر منطبق گردیدند و به صورت نمودار بای پلات (شکل‌های ۱، ۲ و ۳) نمایش داده

جدول ۳. ضریب همبستگی بین شاخص‌های تحمل تنش و عملکرد دانه ارقام کینوا در شرایط تنش (Y_S) و بدون تنش (Y_P)

Table 3. Correlation coefficient between drought stress tolerance indices and grain yield of quinoa cultivars under stress (Y_S) and non-stress (Y_P) conditions

	شاخص‌ها	Y _S	SSI	TOL	MP	STI	GMP	HARM	
									Y _P
بیرجند	اسفند March	75%	0.548 ^{ns}	0.335 ^{ns}	0.529 ^{ns}	0.888 ^{**}	0.850 ^{**}	0.883 ^{**}	0.876 ^{**}
		Y _S	1	-0.602 ^{ns}	-0.420 ^{ns}	0.871 ^{**}	0.900 ^{**}	0.876 ^{**}	0.881 ^{**}
		50%	0.813 ^{**}	0.389 ^{ns}	0.894 ^{**}	0.979 ^{**}	0.971 ^{**}	0.966 ^{**}	0.984 ^{**}
		Y _S	1	-0.196 ^{ns}	0.465 ^{ns}	0.915 ^{**}	0.918 ^{**}	0.936 ^{**}	0.955 ^{**}
		25%	0.801 ^{**}	0.383 ^{ns}	0.927 ^{**}	0.982 ^{**}	0.964 ^{**}	0.955 ^{**}	0.916 ^{**}
		Y _S	1	-0.167 ^{ns}	0.519 ^{ns}	0.901 ^{**}	0.937 ^{**}	0.942 ^{**}	0.973 ^{**}
	مرداد July	75%	0.791 [*]	0.645 ^{ns}	0.725 [*]	0.964 ^{**}	0.955 ^{**}	0.961 ^{**}	0.959 ^{**}
		Y _S	1	0.050 ^{ns}	0.151 ^{ns}	0.925 ^{**}	0.934 ^{**}	0.928 ^{**}	0.932 ^{**}
		50%	0.604 ^{ns}	0.372 ^{ns}	0.360 ^{ns}	0.885 ^{**}	0.816 ^{**}	0.824 ^{**}	0.765 [*]
		Y _S	1	-0.432 ^{ns}	-0.527 ^{ns}	0.905 ^{**}	0.949 ^{**}	0.949 ^{**}	0.974 ^{**}
		25%	0.382 ^{ns}	0.586 ^{ns}	0.926 ^{**}	0.956 ^{**}	0.859 ^{**}	0.827 ^{**}	0.735 [*]
		Y _S	1	-0.118 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.636 ^{ns}	0.799 ^{**}	0.785 [*]	0.906 ^{**}
سریشه Sarbisheh	اسفند March	75%	0.809 ^{**}	0.281 ^{ns}	0.625 ^{ns}	0.963 ^{**}	0.940 ^{**}	0.949 ^{**}	0.933 ^{**}
		Y _S	1	-0.336 ^{ns}	0.047 ^{ns}	0.938 ^{**}	0.959 ^{**}	0.953 ^{**}	0.966 ^{**}
		50%	0.030 ^{ns}	0.547 ^{ns}	0.647 ^{ns}	0.672 [*]	0.392 ^{ns}	0.405 ^{ns}	0.223 ^{ns}
		Y _S	1	-0.373 ^{ns}	-0.743 [*]	0.760 [*]	0.931 ^{**}	0.925 ^{**}	0.980 ^{**}
		25%	-0.543 ^{ns}	0.898 ^{**}	0.951 ^{**}	0.872 ^{**}	0.050 ^{ns}	0.020 ^{ns}	-0.362 ^{ns}
		Y _S	1	-0.785 [*]	-0.776 [*]	-0.060 ^{ns}	0.812 ^{**}	0.822 ^{**}	0.977 ^{**}
	مرداد July	75%	0.734 [*]	0.653 ^{ns}	0.777 [*]	0.959 ^{**}	0.953 ^{**}	0.954 ^{**}	0.948 ^{**}
		Y _S	1	-0.030 ^{ns}	0.143 ^{ns}	0.896 ^{**}	0.898 ^{**}	0.903 ^{**}	0.910 ^{**}
		50%	0.593 ^{ns}	0.592 ^{ns}	0.833 ^{**}	0.948 ^{**}	0.889 ^{**}	0.900 ^{**}	0.839 ^{**}
		Y _S	1	-0.139 ^{ns}	0.050 ^{ns}	0.818 ^{**}	0.888 ^{**}	0.883 ^{**}	0.933 ^{**}
		25%	0.812 ^{**}	-0.080 ^{ns}	0.928 ^{**}	0.982 ^{**}	0.931 ^{**}	0.940 ^{**}	0.883 ^{**}
		Y _S	1	-0.495 ^{ns}	0.536 ^{ns}	0.907 ^{**}	0.963 ^{**}	0.962 ^{**}	0.991 ^{**}

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ را نشان می‌دهد.

ns, * and **: Not significant and significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability, respectively

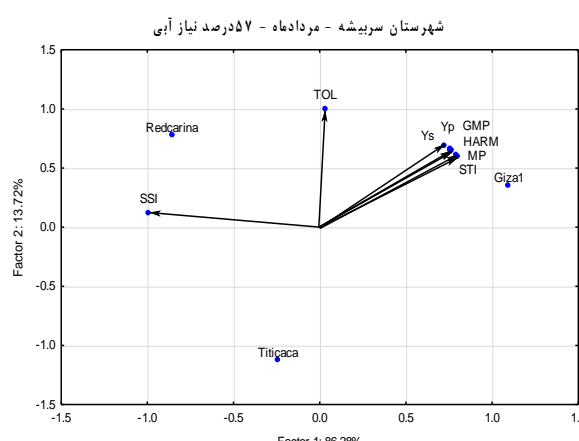
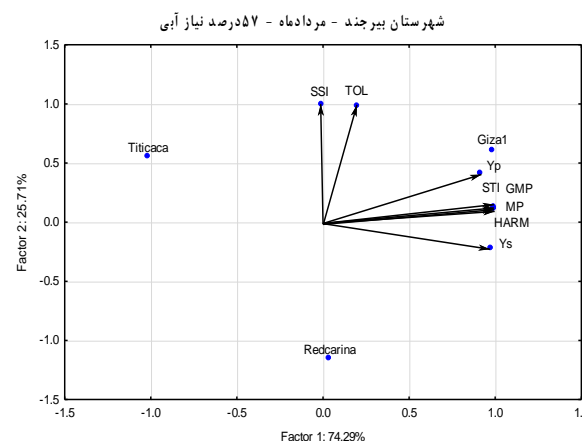
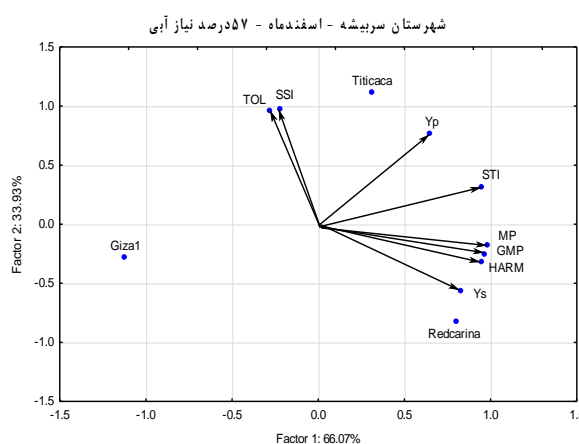
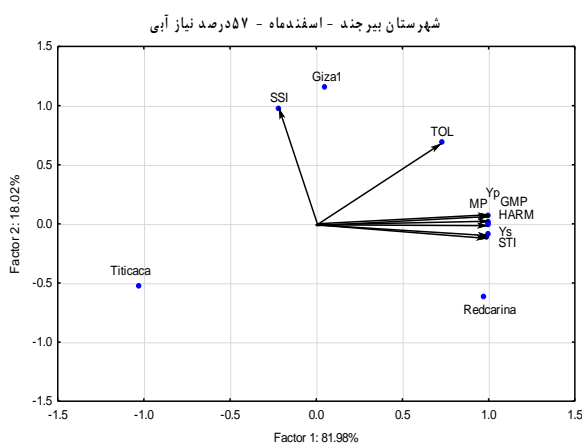
همبستگی منفی با شاخص‌های SSI و TOL بود و همبستگی مثبت با شاخص‌های Y_S، Y_P، MP، GMP، STI و HM داشت، لذا این مؤلفه به عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد که قابلیت تفکیک ارقام متحمل به تنش با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی را دارد، در نظر گرفته شد. بر این اساس

بر اساس همبستگی مؤلفه‌های اول و دوم با شاخص‌های تحمل تنش خشکی عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش (اطلاعات آن با توجه به حجم بالا، ارائه نشده است)، مؤلفه اول در تمام سطوح تنش خشکی اعم از ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی، در هر دو تاریخ کاشت و منطقه مورد مطالعه، دارای

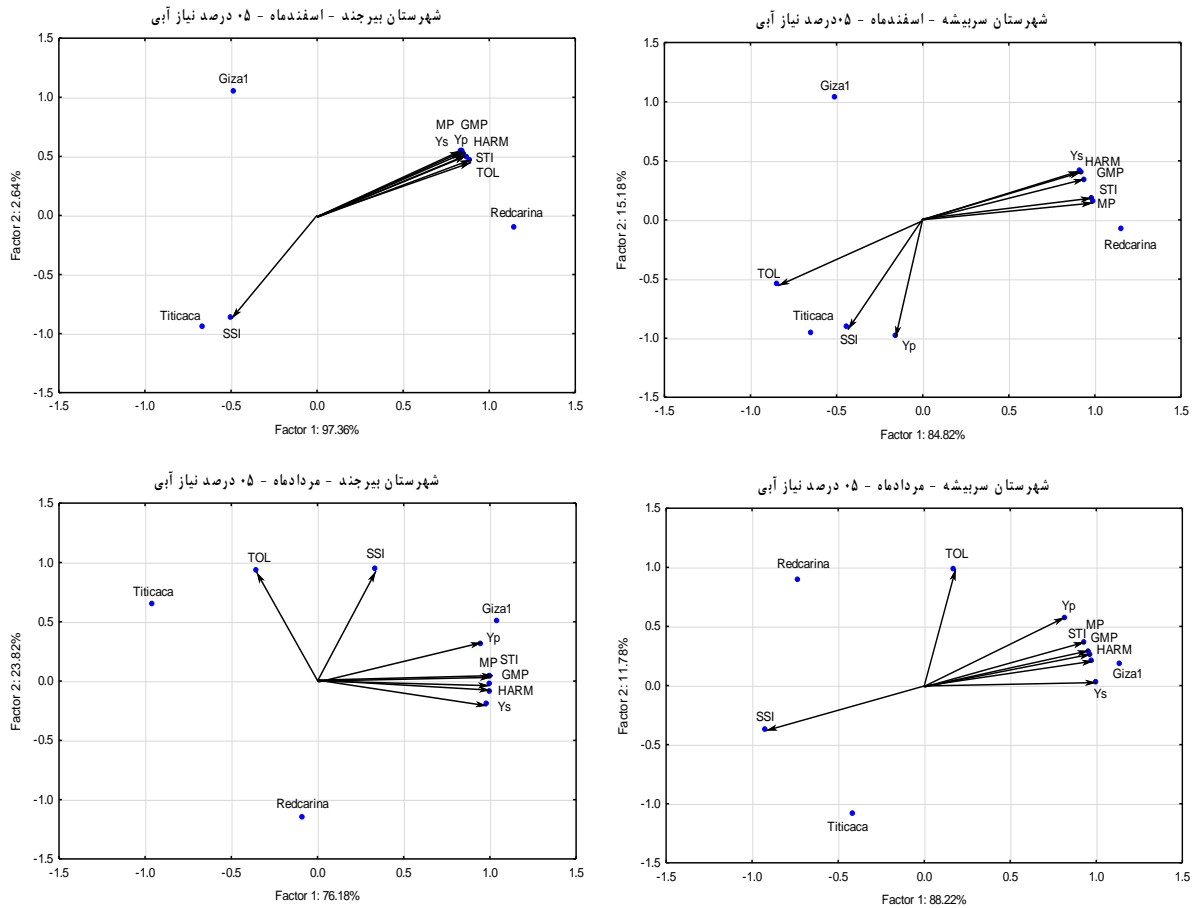
با توجه به مطالب ذکر شده و نمودارهای بای‌پلات رسم شده (شکل‌های ۱، ۲ و ۳)، می‌توان نتیجه گرفت که در هر سه سطح تنش خشکی؛ در کشت اسفندماه در هر دو مکان (سربیشه و بیرجند)، رقم ردکارینا در ناحیه پتانسیل عملکرد خود و به‌عنوان رقم متحمل به تنش بود که در راستای بردار عملکرد دانه در شرایط تنش و شاخص‌های MP، GMP، STI و HM قرار داشت. در کشت مردادماه در هر دو مکان، رقم گیزاوان در ناحیه پتانسیل عملکرد و حساس به تنش و در راستای بردارهای عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و شاخص‌های MP، GMP، STI و HM قرار گرفت که نشان‌دهنده بالاتر بودن عملکرد این رقم در شرایط بدون تنش و تحمل آن‌ها در شرایط کمبود آب بوده و در واقع بیانگر این است که تحمل خشکی در این رقم بیشتر به علت عملکرد

در صورتی که میزان این مؤلفه بالا باشد، رقم موردنظر، دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و میزان SSI پایین است. در نتیجه برای مؤلفه اول، قرارگیری ارقام در سمت راست نمودارهای بای‌پلات (دارای اعداد بزرگ‌تر)، نشان‌دهنده برتری آن‌ها است.

مؤلفه دوم نیز در اکثر سطوح خشکی، زمان‌ها و مکان‌های مورد مطالعه، دارای همبستگی منفی با YS و سایر شاخص‌های تحمل تنش خشکی و همبستگی مثبت با YP، SSI و TOL بود که به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش خشکی که قابلیت تفکیک ارقامی با عملکرد پایین را دارد معرفی شد؛ لذا اعداد پایین‌تر این مؤلفه که در سمت پایین نمودار بای‌پلات قرار دارد، مورد توجه است و بر اساس آن می‌توان ارقام با شاخص مقاومت بالا و متحمل به تنش خشکی را تفکیک کرد.



شکل ۱. نمودار بای‌پلات شاخص‌های تحمل خشکی بر اساس دو مؤلفه اصلی در شرایط بدون تنش (۱۰۰٪ نیاز آبی) و تنش (۷۵٪ نیاز آبی)
Fig. 1. Biplot diagram of drought stress tolerance indices based on two main factors in the non-stress (100% water requirement) and stress conditions (75% water requirement)



شکل ۲. نمودار بای پلات شاخص‌های تحمل خشکی بر اساس دو مؤلفه اصلی در شرایط بدون تنش (۱۰۰٪ نیاز آبی) و تنش (۵۰٪ نیاز آبی)
Fig. 2. Biplot diagram of drought stress tolerance indices based on two main factors in the non-stress (100% water requirement) and stress conditions (50% water requirement)

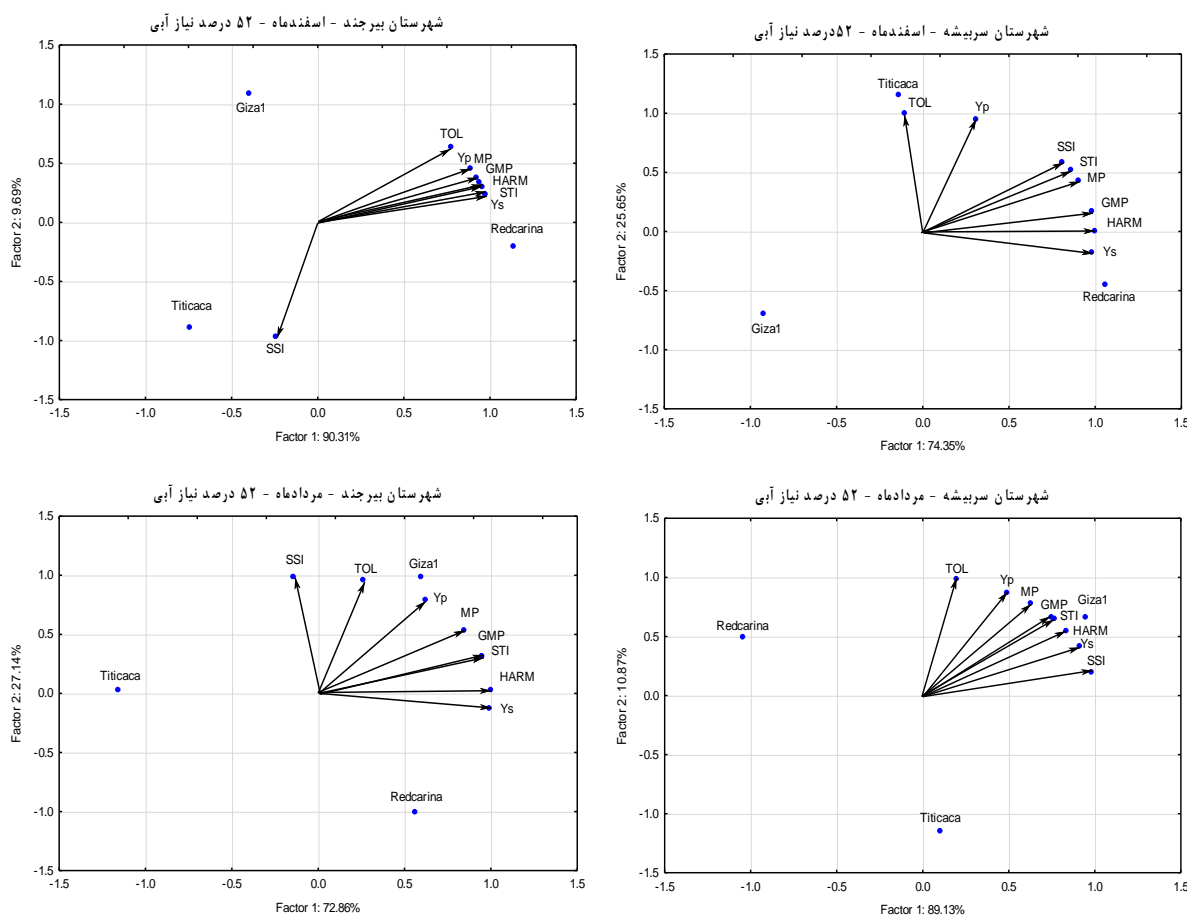
زاویه حاد بین شاخص‌های MP، GMP، HM و STI نشان‌دهنده همبستگی بسیار بالا بین این شاخص‌هاست و بین شاخص‌های SSI و TOL همبستگی بالا وجود دارد (Farshadfar et al., 2001). خوجم‌لی و همکاران (Khojamli et al., 2022) در ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش خشکی بیان نمودند که در تنش خشکی ۱۰ و ۱۵ درصد، سهم مؤلفه اول و دوم در تبیین کل شاخص‌ها به ترتیب برابر ۶۲/۶۷ و ۳۷/۰۹ درصد و ۶۵/۴۸ و ۳۴/۳۲ درصد بود. مؤلفه اول با YP، MP، GMP و STI و مؤلفه دوم نیز با SSI، TOL و YS دارای همبستگی مثبت و بالا بودند. شاخص‌های MP، GMP، STI و HM دارای زوایای تند نسبت به هم در شکل بای پلات بودند که نشان‌دهنده همبستگی بالای این شاخص‌ها با یکدیگر بود. در مطالعه‌ای دیگر در گیاه گندم نیز گزارش شد که مؤلفه اول ۵۷/۲۱ و مؤلفه دوم ۴۱ درصد در توجیه واریانس نقش داشتند و مؤلفه

بالای آن در شرایط آبیاری مطلوب است. در اکثر زمان‌ها و مکان‌های مورد مطالعه، رقم تیتیکاکا در راستای بردار SSI و یا در نزدیک‌ترین موقعیت به این بردار قرار گرفته که نشان‌دهنده حساس بودن این رقم نسبت به سایر ارقام در شرایط تنش بود. رقم گیزاوان در کشت اسفندماه و رقم ردکارینا در کشت مردادماه به‌عنوان ارقام نیمه حساس به تنش خشکی بودند.

بسیاری از محققین از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای پلات جهت انتخاب ارقام مقاوم استفاده نمودند. پور اسماعیل و همکاران (Pour Esmael et al., 2017) عنوان کردند که متحمل‌ترین ژنوتیپ‌های نخود، بیشترین فاصله را از مرکز مختصات داشتند و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل تنش خشکی قرار گرفتند. در بررسی لاین‌های نخود، با استفاده از نمودار بای پلات گزارش شد که

اولین مؤلفه ۶۴/۴۵۷ درصد از کل تغییرات را توجیه کرد و همبستگی مثبت با شاخص‌های *YI*، *MP*، *GMP*، *HM*، *STI*، *YS* و *YP* داشت و مؤلفه دوم با ۲۶/۷۲۷ درصد، همبستگی مثبت و بسیار بالا با *TOL*، *SSI* و *DSI* داشت (Chaghakaboodi et al., 2012). تنش در گیاه کنگد نیز از نمودار بای‌پلات استفاده شد و نتایج نشان داد که مؤلفه اول ۷۴/۹ درصد از کل تغییرات را توجیه کرد و با شاخص‌های *MP*، *GMP*، *HM* و *STI* و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش همبستگی مثبت و بسیار بالا و مؤلفه دوم با ۲۴/۹ درصد تغییرات، همبستگی منفی بالا با عملکرد در تنش و همبستگی مثبت بالا با *SSI* و *TOL* داشت (Golestani and Pak Niyat, 2007).

اول همبستگی مثبت بالایی با *ATI*، *YP*، *TOL*، *SSPI* و همبستگی منفی بالا با شاخص‌های *RDY*، *RDI*، *YSI* و *DI* داشت و مؤلفه دوم ضرایب مثبت و بالا با *YS*، *YZ*، *MSTI* و *RDI* و ضرایب منفی بالا با *SSI*، *SSSI*، *DSI* و *PVE* داشت (Bavandpori et al., 2022). شیبانی‌راد و همکاران (Shibani Rad et al., 2017) نیز به موضوع تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در گندم پرداختند و بیان کردند که مؤلفه اول ۶۵/۵۳ درصد از کل تغییرات را توجیه کرد و همبستگی بالا و مثبت با شاخص‌های *MP*، *GMP*، *STI*، *YI*، *YSI*، *HM*، *RDI* و *SNPI* داشت و مؤلفه دوم ۳۴/۱۵ درصد از کل تغییرات را بیان کرد و با شاخص‌های *SSI*، *TOL* و *SSPI* همبستگی منفی بالا و با شاخص‌های *YI*، *YSI* و *RDI* همبستگی مثبت بالا داشت. در کلزا، گزارش شد که



شکل ۳. نمودار بای‌پلات شاخص‌های تحمل خشکی بر اساس دو مؤلفه اصلی در شرایط بدون تنش (۱۰۰٪ نیاز آبی) و تنش (۲۵٪ نیاز آبی)
Fig. 3. Biplot diagram of drought stress tolerance indices based on two main factors in the non-stress (100% water requirement) and stress conditions (25% water requirement)

منابع

- Ahmadi, G., Zienaly KhaneGhah, H., Rostamy, M.A., Chogan, R., 2000. The study of drought tolerance indices and biplot methode in eight corn hybrids. *Iranian Journal Agriculture Science*. 31, 513-523. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.9.21.89>
- Al-Naggar, A.M., Abd El-Salam, R.M., Badran, A., El-Moghazi, M., 2017. Genotype and drought effects on morphological, physiological and yield traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*. 3, 1-15. <https://doi.org/10.9734/AJAAR/2017/36655>
- Bagheri, M., 2018. Handbook of quinoa cultivation. Seed and Plant Improvement Institute Publication. 48 P. [In Persian].
- Bavandpori, F., Farshadfar, E., Farshadfar, M., 2022. Evaluation of drought tolerance among wheat landraces based on yield and integral selection indices. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 14, 873-886. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.3482.1865>
- Bazile, D., Jacobsen, S.E., Verniau, A., 2016. The global expansion of quinoa: trends and limits. *Frontiers in Plant Science*. 7, 1-6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>
- Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M.S., Ba, D., Breidy, J., Hassan, L., Mohammed, M.I., Mambetov, O., Otambekova, M., Sepahvand, N.A., Shams, A., Souici, D., Miri, K., Padulosi, S., 2016. Worldwide evaluations of quinoa: Preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in plant science*. 7, 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00850>
- Bidinger, F.R., V.Mahalakshmi, G., Rao, D., 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* L. Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research*. 38, 49-59. <http://dx.doi.org/10.1071/AR9870037>
- Bolori, P., Rashidi, V., Yarnia, M., Razban Haghghi, A., Soltani, M., 2011. Evaluation of drought stress tolerance indices in sunflower cultivars. *Journal of Crop Production Research*. 3, 133-142. [In Persian].
- Chaghakaboodi, Z., Zebarjadi, A., Kahrizi, D., 2012. Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in laboratory and field conditions. *Seed and Plant Journal*. 28, 17-38. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.1111089>
- Daneshian, G., Ahmadi, M., 2023. Evaluation of drought tolerance in selected soybean lines. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 33(1), 157-175. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/SAPS.2022.49272.2781>
- Farshadfar, A., Zamani, M.R., Tebali, M., Imam Juma, A.A., 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 32, 65-77. [In Persian].
- Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In *Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress*, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan, 1992, 257-270. <https://doi.org/10.22001/wvc.72511>
- Fghire, R., Anaya, F., Ali Issa, O., Wahbi, S., 2017. Physiological and growth response traits to water deficit as indicators of tolerance criteria between quinoa genotypes. *Journal of Materials and Environmental Sciences*. 8, 2084-2093.
- Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29, 897-912. <https://doi.org/10.1071/AR9780897>
- Gholami, Sh., Rostami, T., Ahmadi, K.H., Amini Dehaghi, M., Bagheri, M., 2021. The effect of salicylic acid on germination of tow genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd L.) under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 14, 157-170. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/ESCS.2020.2658.1696>
- Golestani, M., Pak Niyat, H., 2007. Evaluation of drought tolerance indices in sesame lines. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resorrces*. 11, 141-149. [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1386.11.41.12.4>
- Issa Ali, O., Fghire, R., Anaya, F., Benlhabib, O., Wahbi, S., 2019. Physiological and morphological responses of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) to

- drought stress. *Gesunde Pflanzen*. 71, 123-133. <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00460-y>
- Jabbari, H., Akbari, G.A., Daneshian, J., Alahdadi, I., Shahbazian, N., 2008. Utilization ability of drought resistance indices in sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. *Crop Production*, 1, 1-17. [In Persian w]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1387.1.4.1.8>
- Jacobsen, S.E., 2017. The scope for adaptation of quinoa in Northern Latitudes of Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 203, 603- 613. <https://doi.org/10.1111/jac.12228>
- Jacobsen, S.E., Liu, F., Jensen, C.R., 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.). *Horticultural Scientia*. 122, 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.019>
- Jaikishun, S., Li, W., Yang, Z., Song, S., 2019. Quinoa: in perspective of global challenges. *Agronomy*. 9, 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040176>
- Kamrani, M., Farzi, A., and Ebadi, A., 2015. Evaluation of grain yield performance and tolerance to drought stress in wheat genotypes using drought tolerance indices. *Cereal Research*. 5, 231-246. [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22520163.1394.5.3.3.8>
- Khojamli, R., Zaynali Nezhad, KH., Nasrollahnejad Ghomi, A.A., Bagherikia, S., 2022. Evaluation of bread wheat genotypes under drought stress conditions in seedling stage using drought indices. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 14, 887-899. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/ESCS.2020.3202.1820>
- Lamaoui, M., Jemo, M., Datla, R., and Bekkaoui, F., 2018. Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. *Frontiers in Chemistry*. 6, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.0002>
- Laxa, M., Liebthal, M., Telman, W., Chibani, K., Dietz, K.J., 2019. The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. *Antioxidants*. 8, 1-31. <https://doi.org/10.3390/antiox8040094>
- Mohammad Ali Pouriamchi, H., Bi Hamta, M.R., Propheti, S.A., Naqvi, M.R., 2011. Evaluation of drought tolerance in Kabuli type chickpea genotypes. *Seed and Plant Journal*. 27, 393-409. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.111071>
- Molla Heydari Bafghi, R., Baghizadeh, A., Mohammadinezhad, Q.H., 2016. Evaluation of salinity and drought stresses tolerance in wheat genotypes using tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*. 9, 27-43. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.9.23.9>
- Naeimi, M., Akbari, GH.A. ShiraniRad, A.H., Modares Sanavi, S.M.A., Sadat Nori, S.A., Jabbari, H., 2009. Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. *Crop Production*. 1, 83-98. [In Persian]. <https://dorl.net/20.1001.1.2008739.1387.1.3.6.1>
- Nourmand Moayyed, F., Rostami, M.A., Ghannadha, M.R. 2001. Evaluation of drought resistance indices in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Agriculture Science*. 32, 795-805. [In Persian].
- Passioura, J.B., 2006. Increasing crop productivity when water is scarce-from breeding to field management. *Agricultural Water Management*, 80, 176-196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.012>
- Passioura, J.B., 2007. The drought environment: Physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany*. 58,113–117. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl212>
- Pour Esmael, M., Kanouni, H., Asterki, H., Hajhassani, M., Mirakhorli, A., 2017. Screening of drought tolerant genotypes in Kabuli chickpea core collection. *Seed and Plant Journal*. 33, 353-372. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.113587>
- Rojas, W., Pinto, M., Alanoca, C., Gómez-Pando, L., León-Lobos, P., Alercia, A., Diulgheroff, S., Padulosi, S., Bazile, D., 2015. Quinoa genetic resources and ex situ conservation, Chapter 1-5, 56–82.
- Rosielle, A.T., Hambelen, J., 1981. Theatrical's aspect of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 21, 943-946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>
- Saberi, M.H., Nikkhah, H.R., Tajally, H., Arazmgo, E., 2015. Effects of terminal season drought stress on yield and choosing best tolerance indices in promising lines of barley. *Applied Field Crops Research (Pajouhesh and*

- Sazandegi). 28, 124-132. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/AJ.2016.109588>
- Sadeghi Shua, M., Paknejad, F., Shahbaz Panahi, B., Nasri, R., 2012. Evaluation of drought resistance indices in bread wheat. National non-operating defense conference in the agricultural sector. Qeshm. November 30, 2012. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/322718>
- Samadzadeh, A.R., Zamani, G.R., Fallahi, H.R., 2020. Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. Applied Field Crops Research. 33, 82-104. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/AJ.2020.125793.1392>
- Shibani Rad, A., Farshad Far, E., Najafi, A., 2017. Evaluation of drought stress tolerance in some bread wheat genotypes using drought tolerance indices. Journal of Plant Ecophysiology. 9, 1-14. [In Persian].
- Solimani, A., 2016. Evaluation of drought tolerance in barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) by using drought tolerance indices. Crop Physiology Journal. 8, 95-110. [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22286128.1401.14.41.12.3>
- Vahdi, N., GholiNezhad, A. 2015. Evaluation of drought tolerance of some soybean cultivars. Journal of Water Research in Agriculture. 29, 1-9. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/JWRA.2015.101321>
- Vandkarimi, A., Poor Esmail, M., Vaezi, SH., Ebrahimi, A., 2015. Evaluation and comparison of drought tolerance indices in Desi chickpea genotypes using multivariate analysis methods. Iranian Journal of Field Crop Science. 46, 169-179. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2015.54865>
- Yousofi Azar, M., Rezai, A.M., 2008. Assessment of drought tolerance in different breeding lines of wheat (*Triticum aestivum* L.). Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources). 11, 113-121. [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1386.11.42.10.4>
- Zakavati Asl, B., Ajli, J., Mehr Poyan, M., Faramarzi, A., 2012. Evaluation drought stress tolerance and sensitivity indices and their relation with grain yield on advanced wheat genotypes at Ardabil region. Journal of Research in Crop Sciences. 4, 13-20. [In Persian].