

Assessment of some morphophysiological traits and drought tolerance at the end of the growing season of a number lentil genotypes

N. Fathizadeh^{1*}, S. Houshmand², Sh. Mohammadi², P. Pezeshkpour³

1. Ph.D Student of Genetic and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Iran

2. Professor, Faculty of Agriculture, plant breeding and biotechnology, University of Shahrekords, Iran

3. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

Received 3 August 2022; Accepted 13 November 2022

Extended abstract

Introduction

Lentil is a rich source of protein, fiber, minerals, antioxidants, folate, zinc, selenium, iron, and low amounts of fat and carbohydrates. Increasing water shortage and drought stress will be a major threat to global lentil production. The present study was conducted to determine the morphophysiological traits and grain of yield under normal and drought stress conditions, investigate tolerance indices and identify drought tolerance in some lentil genotypes.

Materials and methods

In this experiment, twenty - four lentil genotypes were evaluated in the research farm of Shahrekord Faculty of Agriculture in two drought-stress environments and the normal conditions of the region in two separate randomized complete block designs with three replications experiments. In the 50% flowering stage, drought stress was done by completely stopping irrigation for the genotypes. Sampling was done at the end of the growing season. In this experiment, morphophysiological and yield traits were measured.

Results and discussion

The results of composite data analysis showed that the effect of environment, genotype and the interaction effect of genotype × environment were significant on most traits. The share of these sources of variation in diversity of triats was different and environment placed on the most role in the diversity of seed yield (55.27%), genotype in the diversity of 100 seed weight (64.6%) and the number of single seed pods (53.9%). Seed yield in normal agricultural conditions has a positive correlation with most of the traits. In addition, under stress conditions, more traits had a significant correlation with grain yield. STI and GMP indices were highly correlated with yield in both environments and these indices can be used to select the superior genotype. Examining the main components of the indicators showed that the first component and two components justify 97.66% of the changes, the first component was introduced as a semi-tolerant component and the second component as a tolerant component. The results of the cluster analysis put the genotypes in three general groups. The results of cluster analysis based on STI and GMP indices put the genotypes in three separate groups.

* Corresponding author: Nasim Fathi Zadeh; E-Mail: fathi89.nasim@gmail.com



Conclusion

One of the main goals of production programs in arid and semi-arid regions is the screening of germplasm in different stages of plant growth. The results of the present research showed that drought stress in the reproductive stage reduces the morphophysiological traits and yield of lentil genotypes. Based on the results of seed yield, Kimia genotype with the lowest yield loss is known as the tolerant variety and C113 variety with the highest yield loss is known as the sensitive variety. Based on the results of seed yield, Kimia genotype with the lowest yield loss is known as the tolerant variety and C113 variety with the highest yield loss is known as the sensitive variety.

Keywords: Abiotic stress, Flowering stage, Lentil, Multivariate statistics

ارزیابی برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و تحمل به خشکی انتهای فصل رشد برخی ژنوتیپ‌های عدس

نسیم فتحی‌زاده^{۱*}، سعداله هوشمند^۲، شهرام محمدی^۳، پیام یزشکیپور^۲

۱. دانشجوی دکتری، ژنتیک و بهنژادی گیاهان زراعی، دانشگاه شهرکرد

۲. استاد، اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه شهرکرد

۳. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: آمار چندمتغیره تنش غیرزیستی شاخص‌های تحمل به خشکی مرحله گلدهی	عدس منبعی غنی از پروتئین، فیبر، مواد معدنی، آنتی‌اکسیدان‌ها و آهن است. با افزایش کمبود آب، تنش خشکی تهدید عمده‌ای برای تولید جهانی عدس خواهد بود. مطالعه حاضر با هدف بررسی واکنش برخی ژنوتیپ‌های عدس در مواجهه با تنش خشکی آخر فصل زراعی و امکان شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انجام گردید. در این راستا ۲۴ ژنوتیپ عدس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط معمول زراعی و محیط تنش خشکی در منطقه شهرکرد مورد ارزیابی قرار گرفتند. تنش خشکی به صورت قطع کامل آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی انجام شد. در این آزمایش صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی عدس اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد اثر محیط، ژنوتیپ، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر اغلب صفات معنی‌دار بود. سهم این منابع تغییر در ایجاد تنوع در صفات متفاوت بود و محیط بیشترین نقش را در تنوع عملکرد دانه (۵۵/۲۷٪) و ژنوتیپ در تنوع وزن صد دانه (۶۴/۶٪) و تعداد غلاف تک بذری (۵۳/۹٪) ایفا نمود. عملکرد دانه در شرایط معمول زراعی با اکثر صفات همبستگی مثبت نشان داد. شاخص‌های STI و GMP با عملکرد همبستگی بالا داشتند و می‌توان از این شاخص‌ها جهت‌گزینش ژنوتیپ برتر استفاده نمود. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌ها، دو مؤلفه اول ۹۷/۶۶ درصد تغییرات را توجیه نمودند که مؤلفه اول به‌عنوان مؤلفه نیمه متحمل و مؤلفه دوم به‌عنوان مؤلفه متحمل معرفی شدند. نتایج تجزیه کلاستر بر اساس دو شاخص STI و GMP ژنوتیپ‌ها را در سه گروه مجزا قرار داد. بر اساس نتایج عملکرد دانه، ژنوتیپ کیمیا با دارا بودن کمترین افت عملکرد به‌عنوان رقم متحمل و رقم C113 با بیشترین افت عملکرد به‌عنوان ژنوتیپ حساس شناسایی گردید. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تنش خشکی در مرحله زایشی موجب کاهش مقدار صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های عدس می‌شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲	
تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۳ ۱۳۹-۱۲۱: (۱) ۱۷	

مقدمه

خشک و نیمه‌خشک به صورت گسترده کشت می‌گردد (Foschi et al., 2020). با این حال عملکرد عدس به دلیل تنش‌های زیستی و غیرزیستی کاهش می‌یابد که از این بین تنش خشکی باعث کاهش ۵۶ تا ۶۴ درصدی عملکرد حبوبات از جمله عدس می‌شود (Tramblay et al., 2020) و حتی می‌تواند منجر به از بین رفتن کامل محصول شود (Idrissi

عدس (*Lens culinaris*) گیاهی یک‌ساله، دیپلوئید (n=24)، خودگشن و سرمادوست است. این گیاه منبعی غنی از پروتئین، فیبر، مواد معدنی، آنتی‌اکسیدان‌ها، فولات، روی، سلنیوم و آهن است. عدس به علت دارا بودن پتانسیل ژنتیکی در تثبیت کودهای بیولوژیکی و نیتروژن، داشتن کاه با کیفیت بالا، چرخه زندگی کوتاه و سازگاری بالا در مناطق

تنش همبستگی بالایی با عملکرد دانه دارند و قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالاتر و متحمل به خشکی هستند. اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های عدس از نظر شاخص‌ها و عملکرد در دو محیط تنش و شاهد بیانگر وجود تنوع ژنتیکی و امکان گزینش برای برنامه‌های دورگ‌گیری بعدی است (Asadi Chaleshtori et al., 2006). همبستگی معنی‌دار و مثبت بین شاخص‌های STI، MP و GMP و HARM با عملکرد عدس در دو محیط تنش خشکی و شاهد گزارش شده است و اعلام شده این شاخص‌ها می‌توانند ارقام دارای عملکرد بالا را در هر دو شرایط محیطی شناسایی کنند (Rahimi et al., 2016). در بررسی سیزده شاخص تحمل به خشکی پرکاربرد بر اساس عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم، شاخص‌های MP، GMP و YI که همبستگی بسیار مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو محیط مطلوب و تنش خشکی داشتند، به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شدند. همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد در شرایط مطلوب و تنش نشان می‌دهد عملکرد بالا در شرایط مطلوب منجر به عملکرد نسبتاً بالا در شرایط تنش می‌شود (Patel et al., 2019).

غربالگری ژرم‌پلاسِم موجود برای تحمل به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گیاه، یکی از اهداف اصلی برنامه‌های تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Idrissi et al., 2015). یکی از موانع اصلی در توسعه ارقام جدید مقاوم به خشکی، توانایی غربال طیفی از ژرم‌پلاسِم برای شناسایی تنوع ژنتیکی برای صفات مؤثر در تحمل به خشکی است. از این رو، انتخاب مواد والدینی مناسب می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی استفاده شود. استفاده از صفات مورفوفیزیولوژیکی و شاخص تحمل مناسب برای غربالگری اولیه و شناسایی منابع تحمل به خشکی در عدس برای مطالعات آتی کمک خواهد کرد. مطالعه حاضر باهدف تعیین روابط بین صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد دانه در شرایط آبیاری و تنش خشکی، بررسی شاخص‌های تحمل و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در برخی ژنوتیپ‌های عدس انجام گردید.

مواد و روش‌ها

مواد ژنتیکی مورد استفاده در این آزمایش شامل ۲۴ ژنوتیپ عدس (جدول ۱) بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خرم‌آباد و مرکز تحقیقات دیم سرارود کرمانشاه تهیه شد. این ژنوتیپ‌ها در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی

(et al., 2015)؛ بنابراین با افزایش کمبود آب، تنش خشکی تهدید عمده‌ای برای تولید جهانی عدس خواهد بود. کمبود آب با ایجاد اختلال در روابط آبی گیاه، فعالیت آنزیمی، فتوسنتز، یکپارچگی غشا و افزایش تنش اکسیداتیو باعث تغییرات فیزیولوژی، رشد و متابولیسم گیاه می‌شود (Farooq et al., 2009). گیاهان متحمل به خشکی سعی در کاهش محتوای نسبی آب، پایداری غشا و فعالیت فتوسنتزی دارند. تجمع پرولین با تحمل تنش مرتبط است به طوری که تجمع پرولین تحت تنش خشکی در برگ‌های انواع عدس اتفاق می‌افتد (Morgil et al., 2017). از سوی دیگر گزارش شده است که در ژنوتیپ‌های عدس تحت تنش خشکی تجمع پرولین تفاوت معنی‌دار با شرایط کنترل نداشت اما محتوای نسبی آب به میزان قابل توجهی کاهش یافت (Hosseini et al., 2021). نتایج مطالعه بیجو و همکاران (Biju et al., 2018) روی ژنوتیپ‌های عدس تحت سطوح تنش خشکی ۱۰۰، ۵۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی در مرحله گلدهی نشان داده است که تنش باعث کاهش محتوای آب نسبی، شاخص برداشت و نسبت وزن خشک ریشه به ساقه می‌گردد. همچنین در این مطالعه ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بالای محتوای آب نسبی، شاخص برداشت، شاخص تحمل به تنش و نسبت وزن خشک ریشه به ساقه به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی مطرح شده‌اند. ژنوتیپ‌های عدس از نظر عملکرد، صفات شاخساره و ریشه تفاوت معنی‌دار دارند. به‌طور کلی تنوع قابل ملاحظه بین ژنوتیپ‌ها برای صفات ارتفاع بوته، وزن ساقه و طول ریشه مشاهده شده است. از طرفی عملکرد دانه در بوته با تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، طول ساقه و طول ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داده است (Sarker et al., 2005).

عملکرد بالا در شرایط بدون تنش لزوماً منجر به بهبود عملکرد در شرایط تنش نمی‌شود و ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا ممکن است نسبت به خشکی مقاوم نباشند و برعکس آن نیز صادق است (Sio-Se Mardeh et al., 2006). لذا جهت اصلاح مؤثر ارقام گیاهی متحمل به خشکی معیارهای انتخاب مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی نیاز است. شاخص‌های تحمل خشکی معیاری از تأثیر تنش خشکی بر اساس کاهش عملکرد در پی تنش بوده و برای غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده می‌شوند (Mitra, 2001). از بین شاخص‌های مطرح شده، بهترین شاخص‌ها آن‌هایی هستند که در هر دو شرایط تنش و بدون

سانتی‌متر در عمق ۳ سانتی‌متری و بافاصله یک ردیف بین دو ژنوتیپ در ۱۵ اسفند سال ۱۳۹۸ کشت شد. با توجه به اقلیم منطقه تا مرحله سبزشدن گیاهچه، آبیاری صورت نگرفت. بعد از سبزشدن گیاهچه با توجه به نیاز گیاه هر ده روز یکبار آبیاری انجام شد (Rahimi et al., 2016).

شهرکرد در سال ۹۹-۱۳۹۸ در دو محیط تنش خشکی و محیط معمول زراعی منطقه در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. در هر واحد آزمایشی بذور در دو ردیف به طول ۲۵۰ سانتی‌متر، فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها ۳

جدول ۱. نام و یا کد ژنوتیپ‌های عدس مورد بررسی و منشأ آن‌ها

Table 1. Genotype's code or name of the Studied lentil genotypes

ردیف	نام یا کد ژنوتیپ	منشأ	ردیف	نام یا کد ژنوتیپ	منشأ
Row	(Genotype's code or name)	(Origin)	Row	(Genotype's code or name)	(Origin)
1	C104	ایکاردا (Icarda)	13	N107	ایکاردا (Icarda)
2	C108	ایکاردا (Icarda)	14	N108	ایکاردا (Icarda)
3	C113	ایکاردا (Icarda)	15	N109	ایکاردا (Icarda)
4	C114	ایکاردا (Icarda)	16	N111	ایکاردا (Icarda)
5	N112	ایکاردا (Icarda)	17	O106	ایکاردا (Icarda)
6	N102	ایکاردا (Icarda)	18	O112	ایکاردا (Icarda)
7	N114	ایکاردا (Icarda)	19	بيله سوار (Bileh Savar)	ایکاردا (Icarda)
8	O101	ایکاردا (Icarda)	20	پریکوز (Pericose)	ایکاردا (Icarda)
9	M108	ایکاردا (Icarda)	21	سپهر (Sepehr)	ایکاردا (Icarda)
10	M115	ایکاردا (Icarda)	22	گچساران (Gachsaran)	ایکاردا (Icarda)
11	M118	ایکاردا (Icarda)	23	کیمیا (Kimia)	ایکاردا (Icarda)
12	N101	ایکاردا (Icarda)	24	کرمانشاه (Kermanshah)	ایران (Iran)

جهت اندازه‌گیری پایداری غشا (MSI) از نمونه برگ استفاده گردید و بر اساس قابلیت هدایت الکتریکی با به‌کارگیری رابطه (۲) محاسبه گردید (Lutts et al., 1996).

$$MSI = \left(\frac{EC1}{EC2} \right) \times 100 \quad [2]$$

برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل a و کلروفیل b از روش آرنون (Arnon, 1949) استفاده گردید. به ترتیب با استفاده از روابط ۳ و ۴ محاسبه گردیدند.

$$Chlorophyll a = 12.7 (D663) - 2.65 (D645) \times \frac{V}{(1000 \times W)} \quad [3]$$

$$Chlorophyll b = 22.9 (D645) - 4.68 (D663) \times \left(\frac{V}{(1000 \times W)} \right) \quad [4]$$

در این روابط D: عدد خوانده شده از دستگاه اسپکتروفوتومتر، V: حجم استون مصرف شده (۱۰ سی‌سی) و W: وزن نمونه مورد استفاده است.

تعیین محتوای پرولین با به‌کارگیری روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) و استفاده از رابطه (۵) محاسبه گردید

کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی صورت گرفت. برای اعمال تنش خشکی، در مرحله ۵۰٪ گلدهی هر ژنوتیپ، قطع کامل آبیاری انجام شد. در این آزمایش صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه اولیه، تعداد غلاف تک بذری، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد کاه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت، محتوای نسبی آب، پایداری غشا، محتوای رنگ‌دانه‌ها و میزان پرولین اندازه‌گیری شد. شیوه اندازه‌گیری محتوای نسبی آب، پایداری غشا، محتوای رنگ‌دانه‌ها و میزان پرولین به شرح ذیل انجام گردید.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ بر مبنای روش ریتچی و همکاران (Ritchie et al., 1990) و با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد:

$$[1] \quad \text{محتوای نسبی آب برگ} = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن خشک} - \text{وزن اشباع}} \times 100$$

میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش و \bar{Y}_p : میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش هستند. قبل از انجام تجزیه و تحلیل داده‌ها، وجود داده‌های پرت مورد بررسی قرار گرفت (Soltani and Torabi, 2019). برای بررسی تأثیر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل این دو عامل بر صفات مورد بررسی، تجزیه مرکب بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط معمول زراعی و تنش خشکی انجام شد. در این راستا همگنی واریانس دو محیط با استفاده از آزمون لون بررسی و تأیید گردید. مقایسه میانگین برای صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون LSD صورت پذیرفت. بررسی آمار چند متغیره شامل همبستگی، تجزیه کلاستر، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. محاسبات آماری با نرم‌افزار Statgraphics 19، Minitab 19 و Excell 2016 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط برای صفات مورد بررسی به جز وزن صد دانه و تعداد غلاف تک بذر معنی‌دار بود (جدول ۲) که به ترتیب بیانگر وجود تنوع ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای این صفات و واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها در شرایط معمول زراعی و تنش خشکی و به عبارتی نیاز به محیط‌های متناسب برای بیان پتانسیل ژنوتیپ‌ها در صفات مختلف است. معنی‌دار شدن اثر محیط بر همه صفات به جز تعداد غلاف تک بذری، بیانگر تفاوت تأثیر دو محیط معمول زراعی و تنش خشکی، بر ویژگی‌های مورد بررسی است. با توجه به عدم معنی‌دار شدن اثر متقابل صفات وزن صد دانه و تعداد غلاف تک بذر می‌توان بیان نمود که ژنوتیپ‌های مورد بررسی روند مشابهی را برای این صفات در دو محیط نشان داده‌اند.

سهم محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل این دو عامل در ایجاد تنوع داده‌ها صفات متفاوت است (جدول ۲).

محیط بیشترین نقش را در صفات عملکرد دانه (۵۵/۲۷٪) و شاخص برداشت (۴۰/۹٪) و محتوای آب نسبی (۳۶/۰٪) نشان داد، اما در سایر صفات ژنوتیپ، در قیاس با محیط، سهم بیشتری در ایجاد تنوع صفات داشت و بیشترین نقش را در تنوع وزن صد دانه (۶۴/۶٪) و تعداد غلاف تک بذری (۵۳/۹٪) ایفا نمود. متفاوت بودن سهم محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل در

$$\text{پرولین} = \frac{D \times \frac{4}{115.3}}{0.25 \times Fw} \quad [5]$$

در این روابط D: عدد قرائت‌شده از دستگاه و Fw: وزن تازه برگ بود.

میزان تغییر ناشی از تنش خشکی در میانگین صفات مختلف از رابطه (۶) به دست آمد.

$$= \text{درصد تغییر صفت} \\ \frac{\text{میزان صفت در شرایط تنش} - \text{میزان صفت در شرایط معمول زراعی}}{\text{میزان صفت در شرایط معمول زراعی}} \times 100 \quad [6]$$

شاخص‌های تحمل به خشکی با به‌کارگیری روابط زیر محاسبه شدند:

شاخص تحمل (TOL):

(Rosielle and Hamblin, 1981)

$$TOL = Y_p - Y_s \quad [7]$$

شاخص میانگین بهره‌وری (MP):

(Rosielle and Hamblin, 1981)

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad [8]$$

شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP):

(Fernandez, 1992)

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \quad [9]$$

شاخص تحمل به تنش (STI): (Fernandez, 1992)

$$STI = \frac{Y_p \times Y_s}{(\bar{Y}_p)^2} \quad [10]$$

شاخص حساسیت به تنش (SSI):

(Fisher and Maurer, 1978)

$$SSI = \frac{1 - (Y_s/Y_p)}{1 - (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)} \quad [11]$$

شاخص عملکرد (YI): (Gavuzzi et al., 1997)

$$YI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s} \quad [12]$$

شاخص پایداری عملکرد (YSI):

(Bousslama and Schapaugh, 1984)

$$YSI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_p} \quad [13]$$

درصد کاهش عملکرد (Yield Reduction)

$$YR = \frac{Y_s - Y_p}{Y_p} \times 100 \quad [14]$$

در این روابط \bar{Y}_p : عملکرد دانه هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش، \bar{Y}_s : عملکرد دانه هر ژنوتیپ در محیط تنش، \bar{Y}_s :

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب برای صفات ژنوتیپ‌های عدس در محیط شرایط معمول زراعی و تنش خشکی

Table 2. Combined analysis of variance for traits of lentil genotypes in two conditions including of normal and drought stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوای نسبی آب Relative water content	پایداری غشا Membrane stability	وزن ۱۰۰ دانه Weight of 100 seed	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد کاه Straw yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
محیط Enviromen (E)	1	9968.5*	3924.8**	3.8*	524174.7*	56475.1 ^{ns}	304.2**	4795.2*
تکرار درون محیط Rep (E)	4	329.5	188.8	0.12	727.7	7481.9	2.6	50.1
ژنوتیپ Genotype (G)	23	175.2**	182.4 ^{ns}	1.01*	4423.8*	52419.7*	67885*	107.4*
ژنوتیپ×محیط G×E	23	162.2**	164.6 ^{ns}	0.08 ^{ns}	5468.8*	55679.2*	78737*	80.1*
خطا Error	92	93.9	163.7	0.1	2106.7	543.5	3039.5	26.3
ضریب تغییرات CV%		16.2	18.4	6.3	23.9	5.2	8.6	17.2
درصد از مجموع مربعات کل Percentage of total SS								
محیط Enviromen (E)		36.0	14.6	10.8	55.2	2.1	20.1	40.9
ژنوتیپ Genotype (G)		14.5	16.2	64.6	10.7	45.9	33.8	21.1
ژنوتیپ×محیط E×G		13.4	14.1	5.4	13.2	48.8	39.3	15.7

Table 2. Cotinued

جدول ۲. ادامه

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه اولیه No. of branches	تعداد غلاف تک بذری No. of one seed pod	برولین Proline	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a/b Chlorophyll a/b
محیط Enviromen (E)	1	61.2 ^{ns}	1.2 ^{ns}	1600*	0.004*	0.14*	0.5*	1.3**
تکرار درون محیط Rep (E)	4	8.5	0.8	1.3	0.00004	0.017	0.01	0.1
ژنوتیپ Genotype (G)	23	17.2*	0.4 ^{ns}	185.1*	0.0001*	0.06*	0.05*	0.3*
ژنوتیپ×محیط G×E	23	15.8**	0.4 ^{ns}	81.6*	0.0001*	0.06*	0.1*	0.5**
خطا Error	92	8.4	0.5	1.6	0.00004	0.003	0.002	0.02
ضریب تغییرات CV %		10.2	29.6	5.8	2.8	11.0	10.0	16.1
درصد از مجموع مربعات کل Percentage of total SS								
محیط Enviromen (E)		3.7	1.6	20.3	32.2	3.9	16.1	6.4
ژنوتیپ Genotype (G)		24.3	11.7	53.9	18.4	43.2	34.1	28.2
ژنوتیپ×محیط E×G		22.3	15.5	23.8	21.2	41.9	42.5	55.6

***, * and ns: Significant at 0.01 and 0.05 probability and Non-significant respectively.

***, * and ns: Significant at 0.01 and 0.05 probability and Non-significant respectively

کاهش معنی‌دار بود. به‌طور نسبی بیشترین میزان کاهش در عملکرد دانه (۰.۴۷/۸) و شاخص برداشت (۰.۳۲/۲) مشاهده گردید. دلیل کاهش این صفات در شرایط تنش خشکی می‌تواند کاهش رطوبت خاک و یا بسته شدن روزنه‌ها باشد (Heidari et al., 2014) که باعث کاهش محتوای نسبی آب گیاه شده و کاهش سایر صفات را به دنبال خواهد داشت. از طرفی طبق گزارش‌ها تنش خشکی موجب کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و تسریع در بلوغ دانه‌ها می‌شود (Mathobo et al., 2019) و این امر می‌تواند باعث کاهش وزن دانه شود که در نتیجه کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت.

صفات می‌تواند مبین آن باشد که تأثیر این عوامل بیش از آنکه به جمعیت و یا ژنوتیپ‌های مورد مطالعه وابسته باشد به نوع صفت مورد بررسی بستگی خواهد داشت.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس و سهم عمده محیط در ایجاد تنوع صفات، مقایسه میانگین دو محیط و میزان تغییر ناشی از تنش خشکی نسبت به شرایط معمول زراعی در جدول ۳ آورده شده است. به‌جز پایداری غشا که در محیط تنش خشکی در قیاس با شرایط معمول زراعی با افزایش (۱۶/۲٪) معنی‌دار همراه بود، سایر صفات در پی مواجه شدن با تنش خشکی کاهش نشان دادند و در اغلب صفات این

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی ژنوتیپ‌های عدس در محیط شرایط معمول زراعی و تنش خشکی

Table 3. Means comparison of lentil genotypes studied traits in normal and drought stress conditions				
Traits	شرایط معمول زراعی صفات	تنش خشکی	میزان تغییر †	
	Normal condition	Drought stress	The amount of change	
Relative water content (%)	محتوای نسبی آب	68.32	51.68	-16.60*(24.3)
Membrane stability(%)	پایداری غشا	64.43	74.87	10.44*(16.2)
Weight of 100 seeds (gr)	وزن ۱۰۰ دانه	4.31	3.91	-0.32*(9.3)
Grain yield (gr.m ⁻²)	عملکرد دانه	251.89	131.27	-120.60*(47.8)
Straw yield (gr.m ⁻²)	عملکرد کاه	464.8	425.20	-39.60 ^{ns} (8.6)
Biological yield (gr.m ⁻²)	عملکرد بیولوژی	716.7	556.40	-160.31*(22.36)
Harvest index%	شاخص برداشت	35.54	24.09	-11.45*(32.2)
Plant height (cm)	ارتفاع بوته	29.23	27.93	-1.31 ^{ns} (4.4)
No. of branches	تعداد شاخه اولیه	2.33	2.51	0.18 ^{ns} (7.7)
No. of one seed pod	تعداد غلاف تک بذری	25.11	18.50	-6.61*(26.3)
Proline (gr. mgfw ⁻¹)	پروлін	0.23	0.24	-0.01*(4.35)
Chlorophyll a (gr. mgfw ⁻¹)	کلروفیل a	0.56	0.51	-0.06*(10.71)
Chlorophyll b (gr. mgfw ⁻¹)	کلروفیل b	0.56	0.41	-0.16*(28.5)
Chlorophyll a/b	کلروفیل a/b	1.31	1.12	-0.18* (16.1)

†: اعداد داخل پرانتز درصد تغییر ناشی از تنش را نشان می‌دهد. ns, * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد با آزمون LSD است.

† Numbers in brackets indicate the percentage change due to drought stress. ns, *, and ** means non-significant, and significant at five and one percent probability levels respectively based on LSD test.

کلروفیل a، b و نسبت این دو باشد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در اغلب صفات، نتایج مقایسه میانگین صفات در ترکیب این دو عامل در جدول ۴ درج شده است. در شرایط معمول زراعی و تنش خشکی به ترتیب ژنوتیپ‌های C114، N114، بیشترین و ژنوتیپ‌های M105، کرمانشاه کمترین محتوای نسبی آب را به خود اختصاص دادند. از جمله علل تفاوت محتوای نسبی آب برگ تفاوت اندازه برگ یا جذب بیشتر آب توسط ریشه است. ژنوتیپ

در این مطالعه تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار مقادیر کلروفیل a (۰.۱۰/۷)، کلروفیل b (۰.۲۸/۵) و نسبت کلروفیل a به b (۰.۱۶/۱) گردید. کاهش میزان رنگیزه‌ها، کاهش میزان رطوبت نسبی برگ (Terzi and Kadioglu, 2006)، کاهش سنتز کمپلکس‌های رنگ‌دانه کلروفیل (Allakhverdiev et al., 2000) صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو و رادیکال‌های آزاد به رنگ‌دانه و ساختار کلروپلاست (Dash et al., 2017) و پیری زودرس برگ‌ها (Shin and Schachtman, 2004) ناشی از تنش خشکی ایجاد می‌شود می‌تواند از دلایل کاهش

O106 N108 کمترین و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ O106 بیشترین و ژنوتیپ N112 کمترین مقادیر عملکرد کاه و بیولوژیکی را به خود اختصاص دادند. ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش خشکی عملکرد بیولوژیک بیشتری داشتند افت عملکرد دانه کمتری داشتند زیرا مواد پرورده بیشتری برای کرمانشاه در هر دو محیط مورد بررسی کمترین پایداری غشا را دارا بود. بیشترین پایداری غشا به ژنوتیپ‌های کیمیا (شرایط معمول زراعی) و بیله سوار (تنش خشکی) اختصاص داشت. در شرایط معمول زراعی ژنوتیپ C113 بیشترین، ژنوتیپ

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ × تنش خشکی صفات مورد بررسی ژنوتیپ‌های عدس

Table 4. Means Comparison of interaction effects of genotype × drought traits of lentil genotypes

ژنوتیپ Genotype	محیط Environments	محتوای نسبی آب Relative water content	پایداری غشا Membrane stability	وزن ۱۰۰ دانه Weight of 100 seeds	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد کاه Straw yield	بیولوژیک Biological yield	شاخص
								برداشت Harvest index
		----- % -----	-----	gr	-----	gr.m ⁻² -----		%
بیله سوار	NC	67.1	66.3	4.9	198.3	315.3	513.7	38.5
Bilesava	DS	55.9	75.7	4.7	98.0	328.3	426.3	23.0
C104	NC	69.1	40.0	4.0	247.1	357.2	604.3	40.8
	DS	51.6	85.1	3.7	131.9	485.0	616.9	20.6
C108	NC	66.6	64.0	3.7	245.3	436.6	681.8	34.6
	DS	40.9	71.3	3.8	163.7	545.3	709.1	23.1
C113	NC	78.6	71.7	4.8	360.5	746.7	1107.2	32.4
	DS	56.1	64.3	4.5	84.3	416.7	501.0	16.8
C114	NC	80.3	66.1	4.6	216.5	282.3	498.8	43.3
	DS	57.8	70.4	4.5	117.0	263.0	380.0	31.0
گچساران	NC	73.7	61.1	5.0	228.8	562.6	791.3	28.9
Gachsaran	DS	43.7	73.1	4.3	132.2	308.3	440.5	30.1
کرمانشاه	NC	59.7	68.1	2.8	191.5	455.2	646.7	29.4
Kermanshah	DS	50.1	77.2	2.9	111.3	460.7	572.0	19.0
کیمیا	NC	68.2	59.1	5.0	207.7	413.3	621.0	32.6
Kimia	DS	38.9	77.7	4.2	202.5	522.0	724.5	28.0
M105	NC	54.4	73.2	4.1	284.5	562.2	846.7	33.6
	DS	51.1	72.4	4.0	123.3	353.3	476.7	25.6
M108	NC	68.9	51.7	4.3	323.5	459.1	782.6	41.4
	DS	42.1	74.9	4.2	85.7	318.9	404.6	21.2
M115	NC	72.1	64.4	4.2	282.5	362.4	644.9	43.7
	DS	55.4	82.6	4.0	119.3	327.1	446.4	25.9
M118	NC	57.0	68.6	4.1	260.7	742.7	1003.3	26.0
	DS	46.3	74.2	3.9	117.8	344.6	462.4	25.5
N101	NC	64.7	56.2	3.6	280.1	382.8	662.9	42.0
	DS	56.6	62.8	3.5	168.3	665.0	833.3	20.1
N107	NC	70.9	64.0	4.5	212.1	661.5	873.6	24.0
	DS	52.1	78.4	4.1	143.0	620.0	763.0	18.8
N108	NC	75.6	76.0	4.4	122.1	223.8	345.8	35.1
	DS	52.8	84.9	4.0	109.2	381.3	490.5	21.5
N109	NC	75.0	51.6	4.3	233.2	369.3	602.5	37.9
	DS	43.1	71.0	3.7	167.8	320.5	488.3	34.4
N111	NC	76.8	70.3	4.4	256.5	531.0	787.5	32.6
	DS	59.3	73.4	3.9	123.4	393.3	516.7	23.6
N112	NC	59.6	63.6	4.5	233.9	550.7	784.6	29.5
	DS	64.8	71.4	4.0	95.7	249.3	345.0	27.5
N114	NC	68.2	65.3	4.3	292.0	529.0	821.0	35.6
	DS	68.0	81.0	4.1	124.0	531.5	655.5	18.6
O101	NC	61.8	67.7	4.1	266.3	333.5	599.8	44.3
	DS	61.8	72.9	3.6	170.1	582.3	752.5	22.5
O106	NC	68.3	61.8	4.7	242.7	396.0	638.7	36.7
	DS	43.4	77.7	4.1	134.0	701.0	835.0	16.0
O112	NC	69.5	66.8	4.5	277.5	553.3	830.8	33.4
	DS	61.2	74.9	4.4	131.2	313.3	444.6	29.7
پریکوز	NC	64.6	80.9	4.7	262.3	587.9	850.2	30.8
Precoz	DS	40.3	76.5	4.1	146.3	435.0	581.3	25.1
سپهر	NC	68.8	68.0	4.5	320.0	341.3	661.3	48.3
sepehr	DS	46.7	73.1	3.9	149.4	339.2	488.5	30.7
LSD 0.01		15.7	20.8	0.4	74.4	37.8	89.4	8.3

Table 4. Continued

جدول ۴. ادامه

ژنوتیپ Genotype	محیط Environments	ارتفاع بوته Plant height cm	تعداد شاخه اولیه Number of primary branches	تعداد غلاف تک		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	a/کلروفیل b Chlorophyll a/b
				بذر Number of one seed pods	پرولین Proline			
						----- gr.mg ⁻¹ weight -----		
بیله سوار	NC	30.3	2.0	24.7	0.23	0.7	0.4	1.7
Bilesavar	DS	27.8	3.3	10.3	0.24	0.8	0.6	1.3
C104	NC	30.3	2.0	35.0	0.22	0.7	0.8	0.9
	DS	30.5	3.0	25.0	0.24	0.4	0.3	1.4
C108	NC	27.9	2.3	28.3	0.23	0.4	0.4	1.1
	DS	29.2	2.7	12.0	0.25	0.4	0.4	1.3
C113	NC	29.7	2.3	34.7	0.22	0.4	0.6	0.8
	DS	30.2	1.7	10.0	0.24	0.6	0.4	1.5
C114	NC	31.0	2.3	19.7	0.24	0.3	0.3	1.2
	DS	24.1	3.0	17.7	0.24	0.4	0.3	1.3
گچساران	NC	28.0	2.0	26.0	0.22	0.4	0.5	0.9
Gachsaran	DS	27.5	2.0	21.3	0.24	0.6	0.5	1.3
کرمانشاه	NC	24.7	2.0	11.0	0.24	0.4	0.5	0.7
Kermanshah	DS	26.5	2.3	10.0	0.24	0.4	0.2	2.1
کیمیا	NC	27.0	2.3	29.0	0.24	0.8	0.5	1.5
Kimia	DS	33.0	2.3	30.0	0.24	0.5	0.5	1.0
M105	NC	28.8	2.7	32.0	0.22	0.6	0.5	1.2
	DS	26.0	2.7	21.3	0.24	0.5	0.3	1.4
M108	NC	31.0	2.7	26.0	0.23	0.9	0.6	1.4
	DS	26.7	2.3	25.7	0.24	0.5	0.3	1.6
M115	NC	30.1	2.3	26.0	0.22	0.6	0.5	1.1
	DS	28.2	2.7	26.0	0.23	0.5	0.5	0.9
M118	NC	31.8	3.0	13.0	0.23	0.5	0.4	1.3
	DS	25.7	2.3	16.0	0.24	0.5	0.3	1.8
N101	NC	27.9	3.0	35.3	0.23	0.7	0.7	1.0
	DS	27.2	2.7	16.3	0.24	0.6	0.3	2.0
N107	NC	32.7	3.3	36.0	0.22	0.6	0.8	0.8
	DS	26.8	2.3	21.3	0.24	0.5	0.4	1.0
N108	NC	28.2	2.3	31.7	0.22	0.5	0.8	0.6
	DS	28.3	2.3	21.0	0.23	0.6	0.4	1.5
N109	NC	32.0	2.0	26.3	0.23	0.7	0.6	1.2
	DS	29.8	2.3	15.3	0.24	0.6	0.5	1.1
N111	NC	27.5	2.3	15.3	0.22	0.5	0.5	1.1
	DS	27.3	2.7	18.0	0.24	0.3	0.6	0.5
N112	NC	27.7	2.0	15.3	0.23	0.5	0.5	1.2
	DS	30.2	2.3	11.7	0.24	0.8	0.6	1.4
N114	NC	31.7	2.3	21.7	0.24	0.3	0.6	0.6
	DS	25.8	2.3	22.0	0.24	0.6	0.4	1.5
O101	NC	27.7	2.0	23.7	0.23	0.6	0.4	1.6
	DS	31.5	2.7	18.0	0.23	0.4	0.3	1.5
O106	NC	30.0	2.7	27.0	0.24	0.7	0.7	0.9
	DS	30.2	2.3	21.7	0.24	0.6	0.4	1.7
O112	NC	28.8	2.0	29.0	0.23	0.7	0.4	1.5
	DS	25.0	2.3	25.3	0.24	0.3	0.5	0.7
پریکوز	NC	24.0	1.7	12.3	0.24	0.8	0.5	1.5
Precoz	DS	23.3	2.7	12.0	0.22	0.3	0.4	0.7
سپهر	NC	32.8	2.3	25.3	0.22	0.4	0.3	1.3
Sepehr	DS	29.5	3.0	16.3	0.24	0.5	0.4	1.3
LSD 0.01		4.71	1.16	2.06	0.011	0.09	0.07	0.22

NC و DS به ترتیب شرایط معمول زراعی و تنش خشکی

NC, DS: Normal and Drought stress conditions, respectively

انتقال به دانه‌ها در اختیار داشتند. عملکرد دانه (گرم در مترمربع) در شرایط معمول زراعی بین (N108) ۱۲۲/۱ تا (C113) ۳۶۰ و برای محیط تنش بین (C113) ۸۴/۳۳ تا (N108) ۲۰۲/۲۹ (کیمیا) بود. ژنوتیپ کیمیا با دارا بودن کمترین افت

ضرایب همبستگی نشان‌دهنده ارتباط بین متغیرها (صفات) است و توجه به این موضوع در به نژادی گیاهان زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عملکرد دانه در شرایط معمول زراعی با صفات عملکرد بیولوژیک (**۰/۶۴۲)، عملکرد کاه (**۰/۳۱۳) و شاخص برداشت (**۰/۵۴۸) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۴)؛ اما در شرایط تنش با محتوای نسبی آب (**۰/۲۵۹-)، پایداری غشا (**۰/۲۳۶)، وزن صد دانه (**۰/۳۴۹-)، عملکرد کاه (**۰/۳۹۱)، عملکرد بیولوژیک (**۰/۶)، شاخص برداشت (**۰/۵۴۶) و کلروفیل a (**۰/۲۵-) همبستگی معنی‌دار داشت (جدول ۵). مقایسه همبستگی عملکرد دانه در دو محیط مورد مطالعه نشان داد که عملکرد در شرایط معمول زراعی با اکثر صفات همبستگی مثبت دارد. به‌علاوه در شرایط تنش صفات بیشتری دارای همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه بوده است که این حاکی از تأثیر محیط بر صفات در دو شرایط معمول زراعی و تنش خشکی است؛ به‌عبارت‌دیگر چون عملکرد صفت کمی بوده تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و نوسانات محیطی است. عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به دلیل روابط نزدیک با عملکرد مهم‌ترین معیار گزینشی می‌باشند (Toker and Cagiran, 2004).

بین وزن صد دانه با عملکرد دانه همبستگی منفی و معنی‌داری گزارش شده است (Tofiq et al., 2016). ارتفاع زیاد بوته منجر به جذب بیشتر نور و افزایش فتوسنتز شده و از این طریق با میزان مواد پرورده بیشتر در عملکرد مؤثر است (Levitt, 1980).

از آنجایی که بین ژنوتیپ‌های دو محیط آبیاری برای اکثر صفات اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳) بنابراین شاخص‌های تحمل به خشکی برای هر ژنوتیپ محاسبه گردید (جدول ۶). بر اساس عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در چهار گروه A (عملکرد بالاتر از میانگین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش)، B (عملکرد بالاتر از میانگین در شرایط بدون تنش)، C (عملکرد بالاتر از میانگین در شرایط تنش) و D (عملکرد پایین‌تر از میانگین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش) قرار می‌گیرند. بهترین معیار جهت تفکیک ژنوتیپ‌ها معیاری است که گروه A را از سایر گروه‌ها متمایز سازد (Fernandez, 1992).

کارایی شاخص‌ها به‌شدت تنش (SI) بستگی دارد و شدت تنش بالاتر از ۰/۷ تنش شدید محسوب می‌شود (Sio-Se, 2006). در این پژوهش شدت تنش در

عملکرد به‌عنوان رقم متحمل و ژنوتیپ C113 با بیشترین افت عملکرد به‌عنوان ژنوتیپ حساس شناسایی شدند. کمترین مقدار شاخص برداشت برای ژنوتیپ‌های N107 (شرایط معمول زراعی)، O106 (تنش خشکی)، و بیشترین مقدار آن برای ژنوتیپ‌های سپهر (شرایط معمول زراعی)، N109 (تنش خشکی) مشاهده شد. در هر دو محیط مورد بررسی کمترین مقادیر ارتفاع بوته به پریکوز و بیشترین مقادیر به ژنوتیپ‌های کیمیا (تنش خشکی) و سپهر (شرایط معمول زراعی) اختصاص داشت. بیشترین و کمترین تعداد شاخه اولیه در شرایط معمول زراعی به ژنوتیپ‌های N107 (۲/۶۶) و پریکوز (۱/۳) تعلق داشت.

تحت تنش خشکی بیشترین و کمترین تعداد شاخه ثانویه در ژنوتیپ‌های بیله سوار (۳/۳) و C113 (۲/۳) مشاهده شد. بیشترین تعداد غلاف تک بذر در ژنوتیپ‌های کیمیا (۳۰)، تنش خشکی، N107 (۳۶)، شرایط معمول زراعی) و کمترین مقادیر در ژنوتیپ کرمانشاه مشاهده شد. تعداد غلاف تک بذر در ژنوتیپ کیمیا در هر دو محیط تفاوت کمتری داشت. در محیط تنش خشکی بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل a به ژنوتیپ‌های بیله سوار و پریکوز تعلق داشت؛ اما در شرایط معمول زراعی ژنوتیپ‌های M108، C114 به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر کلروفیل a را به خود اختصاص دادند. بیشترین مقادیر کلروفیل b در ژنوتیپ‌های بیله سوار (تنش خشکی)، C104 (شرایط معمول زراعی) و کمترین مقادیر در ژنوتیپ‌های کرمانشاه (تنش خشکی)، C114 (شرایط معمول زراعی) مشاهده شد. از مکانیسم‌های گیاهان تحت تنش خشکی، کاهش مقدار کلروفیل جهت کاهش جذب نوری توسط کلروپلاست است. در این مطالعه مقدار کلروفیل b در ژنوتیپ بیله سوار در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط معمول زراعی افزایش یافت. از طرف دیگر عملکرد دانه بیله سوار در شرایط معمول زراعی بیشتر از شرایط تنش خشکی بود؛ بنابراین ژنوتیپ بیله سوار حساس به تنش آبی است. نسبت کلروفیل a به b در اکثر ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش خشکی افزایش یافت. ژنوتیپ‌های بیله سوار، کرمانشاه بیشترین و N114، N111 کمترین مقادیر نسبت کلروفیل a به b در شرایط معمول زراعی و تنش خشکی را به خود اختصاص دادند. با توجه به مقادیر رنگ‌دانه‌های ژنوتیپ متحمل کیمیا و حساس C113 می‌توان عنوان کرد هرچه غلظت کلروفیل a و b در شرایط تنش اختلاف کمتری داشته باشند ژنوتیپ به تنش متحمل‌تر است.

ژنوتیپ به خشکی کمتر است. بنا بر آنچه گفته شد شاخص SSI قادر به شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی و لاین‌هایی که پاسخ ضعیف به شرایط مطلوب زراعی نشان می‌دهند، نیست، بنابراین انتخاب بر اساس این شاخص ممکن به‌نژادگران را به‌اشتباه بیندازد. ژنوتیپ‌های O101، N101، سپهر و کیمیا بیشترین مقادیر شاخص‌های STI و GMP را به خود اختصاص دادند؛ بنابراین این دو شاخص یک جنبه مشترک از مقاومت به تنش خشکی در عدس را بیان می‌کنند. انتخاب بر اساس این شاخص‌ها منجر به افزایش عملکرد در شرایط تنش و مطلوب زراعی خواهد شد. بنابراین ژنوتیپ‌های نامبرده در گروه A قرار داشتند؛ اما ژنوتیپ‌های N108، کرمانشاه، N112 و بیله سوار کمترین مقادیر STI و GMP را دارا بودند. این ژنوتیپ‌ها در گروه D مدل فرناندز قرار گرفتند. مقدار بالای شاخص تحمل (Tol) بیانگر تفاوت عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش است. بر اساس این شاخص تحمل نسبی بیشتر متعلق به ژنوتیپی است که TOL کوچک‌تری داشته باشد. استفاده از این شاخص نشان داد که

اواخر مرحله گلدهی برابر ۰/۴۸ بود که نشان می‌دهد کاهش عملکرد در شرایط تنش در مقایسه با شرایط مطلوب، تقریباً نصف بوده است. میزان افت عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مختلف تحت تنش خشکی بین ۲-۷۶ درصد بود. شدت تنش در محاسبه شاخص حساسیت به تنش (SSI) کاربرد دارد. شاخص SSI برای تنش‌هایی با شدت کم و شاخص‌های MP، GMP و STI برای تنش‌هایی با شدت بالا مناسب می‌باشند (Sio-Se Mardeh et al., 2006). بر اساس شاخص SSI اکثر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه این پژوهش دارای مقادیر بیشتر از یک بودند. برخی از محققین SSI بیشتر از یک را دلالت بر حساسیت بیش از متوسط تحت تنش گزارش کرده‌اند (Guttieri et al., 2001). در این مطالعه رقم کیمیا با کمترین مقدار شاخص SSI (-۰/۲۲) متحمل‌ترین ژنوتیپ نسبت به شرایط تنش بود. این ژنوتیپ بر اساس مدل فرناندز در گروه C قرار دارد. از آنجایی که هراندازه عملکرد در محیط تنش به عملکرد در محیط بدون تنش نزدیک‌تر باشد، میزان شاخص SSI کمتر شده و به همان اندازه نیز حساسیت آن

جدول ۵. ضرایب همبستگی صفات مورد بررسی در شرایط معمول زراعی و تنش خشکی

Table 5. Correlation coefficients of studied traits under normal and drought stress conditions

Triats	صفات	1	2	3	4	5	6	7
1	محتوای نسبی آب Relative water content	1	-0.169	0.072	-0.259*	-0.042	-0.104	-0.205
2	پایداری غشا Membrane stability	0.048	1	-0.166	0.236*	0.06	0.114	0.124
3	وزن ۱۰۰ دانه Weight of 100 seeds	0.356**	0.061	1	-0.349**	-0.294*	-0.346**	-0.016
4	عملکرد دانه Grain yield	0.091	-0.021	0.01	1	0.391**	0.600**	0.546**
5	عملکرد کاه Straw yield	-0.162	0.204	0.106	0.313**	1	0.971**	-0.530**
6	عملکرد بیولوژیک Biological yield	-0.095	0.157	0.09	0.642**	0.929**	1	-0.319**
7	شاخص برداشت Harvest index	0.23	-0.193	-0.056	0.548**	-0.597**	-0.269*	1
8	ارتفاع بوته Plant height	0.165	-0.149	0.107	0.196	-0.037	0.046	0.227
9	تعداد شاخه اولیه Number of primary branches	-0.048	-0.153	0.046	0.071	0.13	0.133	-0.002
10	تعداد غلاف تک بذری Number of one seed pods	0.178	-0.244*	0.134	0.105	-0.14	-0.072	0.187
11	پروترین Proline	-0.124	-0.05	-0.096	-0.064	-0.102	-0.107	-0.015
12	کلروفیل a Chlorophyll a	-0.115	-0.270*	0.135	0.052	-0.073	-0.038	0.071
13	کلروفیل b Chlorophyll b	0.071	-0.199	-0.134	-0.107	-0.023	-0.06	-0.098
14	کلروفیل a/b Chlorophyll a/b	-0.173	-0.046	0.288*	0.091	-0.108	-0.052	0.177

Table 5. Continued

جدول ۵. ادامه

Triat	صفات	8	9	10	11	12	13	14
1	محتوای نسبی آب Relative water content	-0.025	0.035	-0.046	0.024	0.158	0.058	0.087
2	پایداری غشا Membrane stability	-0.091	-0.087	0.195	-0.137	-0.055	0.032	-0.073
3	وزن ۱۰۰ دانه Weight of 100 seeds	-0.015	-0.086	0.139	0.109	0.271*	0.439**	-0.309**
4	عملکرد دانه Grain yield	0.21	0.108	0.18	0.077	-0.251*	-0.043	-0.18
5	عملکرد کاه Straw yield	0.164	-0.006	0.094	-0.005	-0.086	-0.320**	0.262*
6	عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.197	0.023	0.129	0.015	-0.14	-0.289*	0.181
7	شاخص برداشت Harvest index	0.019	0.083	0.064	0.113	-0.137	0.226	-0.371**
8	ارتفاع بوته Plant height	1	0.083	0.07	0.079	0.226	0.114	0.072
9	تعداد شاخه اولیه Number of primary branches	0.037	1	0.021	-0.188	-0.096	-0.007	-0.11
10	تعداد غلاف تک بذری Number of one seed pods	0.23	0.208	1	0.064	-0.178	0.08	-0.248*
11	پروترین Proline	-0.168	-0.137	-0.354**	1	0.183	0.052	0.135
12	کلروفیل a Chlorophyll a	-0.061	0.024	0.236*	0.058	1	0.380**	0.422**
13	کلروفیل b Chlorophyll b	-0.022	0.195	0.507**	-0.19	0.422**	1	-0.632**
14	کلروفیل a/b Chlorophyll a/b	-0.015	-0.126	-0.205	0.2	0.535**	-0.518**	1

بالا قطر ضرایب همبستگی صفات در شرایط تنش خشکی و پایین قطر همبستگی صفات در شرایط معمول زراعی را نشان می‌دهد. * و ** به ترتیب معنی داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

The above and bottom of the diameter indicate the correlation coefficient of traits in drought stress and normal conditions respectively. * and **, significant at 5 and 1 percent probability levels respectively.

اساس این نتایج این شاخص قادر به تمایز ژنوتیپ‌های گروه A و B نیست. بیشترین و کمترین شاخص عملکرد (YI) به ترتیب مربوط ژنوتیپ‌های کیمیا با YI برابر ۱/۵۷ (متحمل) و M108 برابر ۰/۶۵ (حساس) بود. انتخاب ژنوتیپ بر اساس شاخص YSI منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با کمترین افت عملکرد در دو محیط خواهد شد. در واقع این شاخص بیانگر مقاومت ژنتیکی رقم به تنش است. طبق شاخص پایداری عملکرد YSI ژنوتیپ‌های کیمیا (YI=۱/۱) و N108 عملکرد (YI=۱/۰۶) به عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های C113 و M108 کمترین مقادیر شاخص YSI را به خود اختصاص دادند. ژنوتیپ N108 در گروه D ولی ژنوتیپ‌های C113 و M108 در گروه B قرار گرفتند.

در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های کیمیا و N108 به ترتیب با TOL برابر ۵/۷ و ۱۲/۱ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی بودند. این شاخص در گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در دو محیط تنش و بدون تنش موفق نبوده و گزینش را به سوی ژنوتیپ‌های کم بازده و متحمل سوق می‌دهد. این نتایج با نتایج سایر محققین مطابقت داشت (Shirinzadeh et al., 2009). مقادیر بالای شاخص MP نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش است و اغلب گزینش بر اساس این شاخص منجر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد زیاد در شرایط بدون تنش ولی کم تحمل به تنش می‌گردد (Ramirez-Vallejo et al., 2009). در این مطالعه ژنوتیپ‌های سپهر، N101 (گروه A) و C113 (گروه B) بیشترین مقادیر این شاخص را به خود اختصاص دادند. بر

جدول ۶. برآورد برخی شاخص‌های تحمل به خشکی ژنوتیپ عدس

Table 6. Estimation of some drought tolerance indices of lentil genotype

ژنوتیپ Genotype	Ys	Yp	YR	TOL	MP	GMP	STI	YI	YSI	SSI
C104	131.9	247.1	-46.6	115.2	189.4	177.2	0.5	1	0.5	0.9
C108	163.7	245.3	-33.2	81.5	204.5	193.7	0.6	1	0.9	0.3
C113	84.3	360.5	-76.6	276.1	222.4	172.9	0.4	0.6	0.2	1.6
C114	117	216.5	-45.9	99.5	166.7	158.7	0.4	0.9	0.6	0.9
M105	123.3	284.5	-56.6	161.1	203.9	186.3	0.5	0.9	0.4	1.2
M108	85.6	323.5	-73.5	237.8	204.5	166.2	0.4	0.6	0.3	1.5
M115	119.3	282.5	-57.7	163.1	200.9	178.1	0.5	0.9	0.4	1.2
M118	117.8	260.7	-54.8	142.8	189.2	174.1	0.4	0.9	0.4	1.1
N101	168.3	280.1	-39.9	111.7	224.2	216.2	0.7	1.3	0.6	0.8
N107	143	212.1	-32.5	69.0	177.5	173.1	0.4	1.1	0.7	0.6
N108	109.2	122.1	-10.5	12.8	115.6	108.5	0.1	0.8	1.1	-0.1
N109	167.7	233.2	-28.0	65.4	200.4	194.4	0.6	1.3	0.8	0.4
N111	123.4	256.5	-51.8	133.1	189.9	176.7	0.5	0.9	0.5	1.1
N112	95.7	233.9	-59.0	138.2	164.8	146.6	0.3	0.7	0.5	1.2
N114	124	292	-57.5	168	208	187.7	0.5	0.9	0.4	1.2
O101	170.1	266.3	-36.1	96.2	218.2	211.7	0.7	1.3	0.7	0.7
O106	134	242.7	-44.7	108.6	188.3	173.5	0.4	1	0.7	0.6
O112	131.2	277.5	-52.7	146.2	204.3	190.5	0.5	1	0.5	1.1
بيله‌سوار Bilesavar	98	198.3	-50.5	100.3	148.1	139.0	0.3	0.7	0.5	1.0
پریکوز Precoz	146.2	262.3	-44.2	116.0	204.3	195.7	0.6	1.1	0.6	0.9
سپهر Sepehr	149.3	320	-53.3	170.6	234.6	218.1	0.7	1.1	0.5	1.1
کرمانشاه Kermanshah	111.3	191.5	-41.8	80.1	151.4	141.1	0.3	0.8	0.6	0.8
کیمیا Kimia	202.4	207.7	-2.5	5.1	205.0	202.0	0.6	1.5	1.1	-0.2
گچساران Gachsaran	132.2	228.8	-42.2	96.5	180.4	173.6	0.4	1	0.6	0.8
میانگین Mean	131.2	251.9	-	120.7	191.6	177.4	0.5	1	0.6	0.9
LSD _{0.05}				115.4	48.6	47.9	0.3	0.4	0.5	0.5

ns, * and **: n.s به ترتیب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

و این دو شاخص توانایی یکسانی در تفکیک گروه‌های ژنوتیپی دارند (Shirinzadeh et al., 2009).

در این مطالعه مؤلفه‌های اصلی شاخص‌ها نشان داد که دو مؤلفه اول ۹۷/۶۶ درصد تغییرات را توجیه می‌کنند (جدول ۷). در این بررسی مؤلفه اول ۵۰/۵۲ درصد از کل تغییرات را توجیه کرد. بیشترین همبستگی مثبت این مؤلفه با شاخص‌های YI، YSI و عملکرد در شرایط تنش بود. مؤلفه اول با عملکرد در شرایط معمول زراعی همبستگی منفی نشان داد؛ بنابراین این مؤلفه قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های نیمه متحمل است. مؤلفه دوم ۴۷/۱ درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان کرد و همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های STI، MP، GMP و عملکرد در شرایط معمول زراعی نشان داد.

در این مطالعه اکثر شاخص‌ها همبستگی بالایی با هم نشان دادند و استفاده هم‌زمان شاخص‌ها در برنامه‌های اصلاحی مفید نیست؛ بنابراین شاخصی که با عملکرد همبستگی بالایی دارد به‌عنوان شاخص مفید شناخته می‌شود. شاخص‌های STI و GMP در هر دو محیط، با عملکرد همبستگی مثبت و بالایی داشتند (داده‌ها آورده نشد) و می‌توان از این شاخص‌ها جهت‌گزینش ژنوتیپ برتر استفاده نمود (Fernandez, 1992). محققین این شاخص‌ها را مناسب تشخیص داده‌اند (Mazengo et al., 2019). همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های SSI و TOL (**۰/۸۹۷)، نتایج مربوط به مقایسه شاخص‌ها را تأیید نمود

از آنجا که مقادیر بزرگ‌تر این شاخص‌ها مطلوب است و همچنین با توجه ضرایب مثبت عملکرد در دو محیط معمول زراعی و تنش در مؤلفه دوم می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر بزرگ‌تر برای این مؤلفه هستند، عملکرد دانه بیشتری دارند و این مؤلفه قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های متحمل‌تر است.

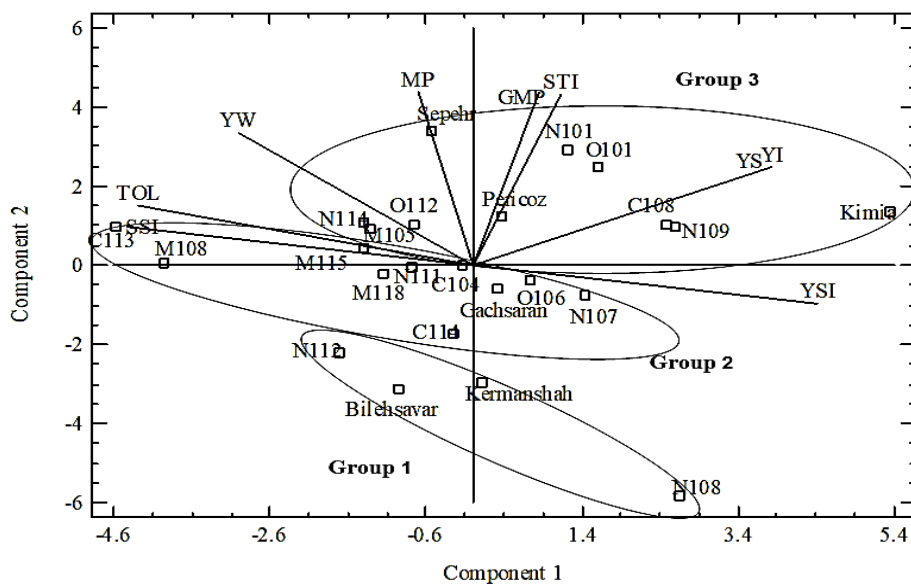
جدول ۷. مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و سهم تجمعی شاخص‌های تحمل و عملکرد در دو محیط بررسی در ژنوتیپ‌های عدس

Table 7. Eigen values, vector values and cumulative variance of tolerance indices, Yp and Ys in lentil genotypes

مؤلفه	مقادیر ویژه	فراوانی تجمعی	YW	YS	STI	GMP	MP	YI	TOL	YSI	SSI
Component	Eigenvalue	Cumulative Percentage									
1	4.54	50.52	-0.31	0.38	0.11	0.08	-0.06	0.38	-0.43	0.44	-0.44
2	4.24	97.66	0.36	0.27	0.46	0.47	0.47	0.27	0.16	-0.10	0.10

شاخص‌ها برای گزینش بر اساس عملکرد STI، GMP و MP هستند. این نتایج با نتایج سایر محققین برای گیاهان نخود زراعی و نخود کابلی مطابقت داشت (Seyedi et al., 2013; Pooryamchi et al., 2011).

همان‌طور که می‌دانیم مؤلفه اول شامل تغییراتی است که توسط مؤلفه دوم تبیین نمی‌شود و بالعکس، به همین دلیل دو مؤلفه را می‌توان به صورت دو محور عمود بر هم نمایش داد و ژنوتیپ‌ها را بر اساس این دو مؤلفه در سطح بای پلات مشخص نمود (شکل ۱). نمودار مذکور نشان داد که بهترین



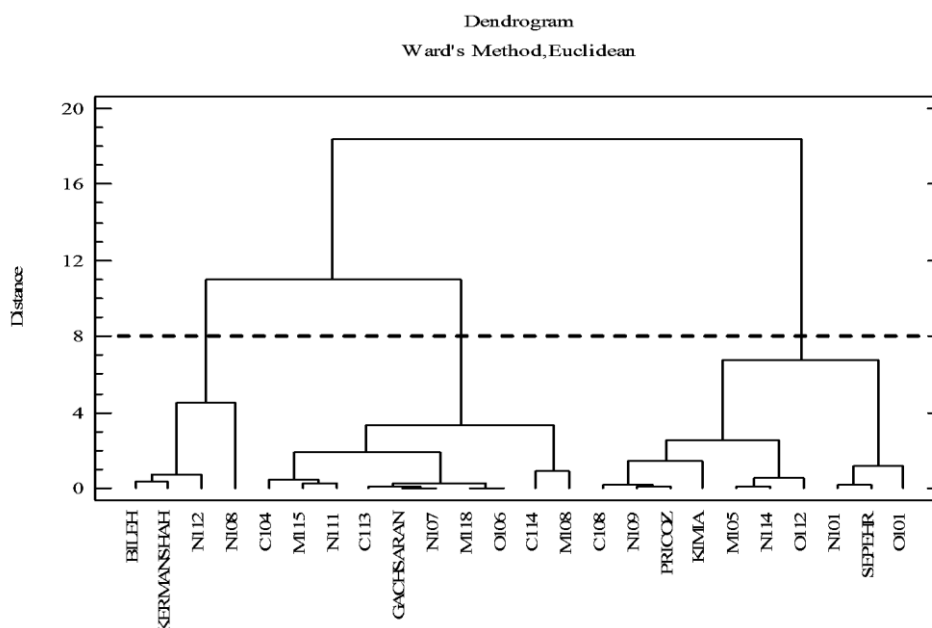
شکل ۱. بای پلات مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل به خشکی

Fig. 1. Biplot the main components of drought tolerance indices

ژنوتیپ‌های باقیمانده در گروه سوم قرار گرفتند. عملکرد در شرایط تنش برای گروه‌های موردنظر به ترتیب برابر ۱۰۳/۵۴، ۱۱۸/۸۵ و ۱۵۴/۶۶ بود. درحالی‌که عملکرد این گروه‌ها در شرایط معمول زراعی به ترتیب ۲۶۳/۰۷، ۱۸۶/۴۶ و ۲۶۶/۸۸ بود. گروه سوم دارای بالاترین عملکرد تنش و معمول زراعی بود که ارقام متحمل به خشکی می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد ژنوتیپ کیمیا در گروه سوم قرار گرفته است. بر اساس این دو شاخص

دو شاخص STI و GMP بالاترین همبستگی را با عملکرد در هر دو محیط زراعی داشتند؛ بنابراین گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس این شاخص‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و روش وارد صورت گرفت (شکل ۲). بر اساس نتایج خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها در سه گروه قرار گرفتند. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای گروه اول شامل چهار ژنوتیپ N112، N108، کرمانشاه و بیله سوار بود. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های C113، M108، O106، M118، N107، گچساران، C114،

ژنوتیپ‌های گروه اول عملکرد پایین در هر دو شرایط زراعی و درعین حال حساس به تنش خشکی بودند. نتایج تجزیه (۱) خوشه‌ای با نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی تطابق داشت (شکل



شکل ۲. دندروگرام تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌های مورد بررسی

Fig. 2. Cluster analysis dendrogram of the studied genotypes

شد. بر اساس این دو شاخص ژنوتیپ‌های N101، O101، سپهر و کیمیا در گروه A و ژنوتیپ‌های N108، کرمانشاه، N112 و بیله سوار در گروه D مدل فرناندز قرار گرفتند. در این بررسی مؤلفه اول با عملکرد در شرایط تنش همبستگی مثبت و با عملکرد در شرایط معمول زراعی همبستگی منفی نشان داد؛ بنابراین این مؤلفه قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های نیمه متحمل است. با توجه ضرایب مثبت عملکرد در دو محیط معمول زراعی و تنش در مؤلفه دوم می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر بزرگ‌تر برای این مؤلفه هستند، عملکرد دانه بیشتری دارند و این مؤلفه قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های متحمل‌تر است. بر اساس نتایج خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها در سه گروه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های گروه سوم دارای بالاترین عملکرد تنش و معمول زراعی بودند که شامل ارقام متحمل به خشکی می‌باشند. بر اساس این دو شاخص ژنوتیپ‌های گروه اول عملکرد پایین در هر دو شرایط زراعی و درعین حال حساس به تنش خشکی بودند.

نتیجه‌گیری نهایی

از اهداف اصلی برنامه‌های تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک غربالگری ژرم پلاسما موجود در مراحل مختلف رشد گیاه است. استفاده از صفات مورفوفیزیولوژیکی و شاخص تحمل مناسب برای غربالگری اولیه و شناسایی منابع تحمل به خشکی در عدس برای مطالعات آتی کمک خواهد کرد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تنش خشکی در مرحله زایشی موجب کاهش صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های عدس می‌شود. بر اساس نتایج عملکرد دانه، ژنوتیپ کیمیا با دارا بودن کمترین افت عملکرد به‌عنوان ژنوتیپ متحمل و ژنوتیپ C113 با بیشترین افت عملکرد به‌عنوان ژنوتیپ حساس شناخته شد. دو شاخص STI و GMP بالاترین همبستگی را با عملکرد در هر دو محیط زراعی داشتند. انتخاب بر اساس این شاخص‌ها منجر به افزایش عملکرد در شرایط تنش و مطلوب زراعی خواهد

منابع

- Allakhverdiev, S.I., Sakamoto, A., Nishiyama, Y., Murata, N., 2000. Inactivation of photosystems I and II in response to osmotic stress in *Synechococcus*. Contribution of water channels. *Journal of Plant Physiology*. 122, 1201-120. <https://doi.org/10.1104/pp.122.4.1201>
- Arnon, A.N., 1949. Cpooper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24, 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Asadi Chaleshtori, S., Hassanzadeh, A., Fayyaz moghadam, A., 2006. Study of drought tolerance indices in native land lentils of West Azerbaijan. *Journal of Agriculture and Natural Resources*. 13, 80-89. [In Persian]. <https://sid.ir/paper/9403/fa>
- Bates, L.S., Waldern, R.P., Tear, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil Science*. 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Biju, S., Fuentes, S., Gupta, D., 2018. The use of infrared thermal imaging as a non-destructive screening tool for identifying drought-tolerant lentil genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry*. 127, 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.005>
- Bousslama, M., Schapaugh, W.T., 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 24, 933-937. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x>
- Dash, A., De, D.K., Nath, R., Sarkar, A., Mohanty, S., 2017. Comparative study of relative water, chlorophyll and proline content in drought tolerant and susceptible genotypes of lentil (*Lens culinaris Medik.*). *Research Journal of Agricultural Sciences*. 8, 1081-1086. <https://doi.org/10.22271/09746315.2020.v16.i1.1293>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N.S.M.A., Fujita, D.B.S.M.A., Basra, S.M.A. 2009. Review article plant drought stress: plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable agriculture*. 153-188. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12.
- Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (eds.), *Adaptation of food crops to temperature and water stress*. Shanhua, Taiwan AVRDC, pp. 257-270. <https://doi.org/10.22001/wvc.72511>
- Fisher, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29, 897-912. <https://doi.org/10.1071/AR9780897>
- Foschi, M., D'Archivio, A.A., Rossi, L., 2020. Geographical discrimination and authentication of lentils (*Lens culinaris Medik.*) by ICP-OES elemental analysis and chemometrics. *Food Control*. 118, 107438. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107438>
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R.G., Ricciardi, G.L., Borghi, B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*. 77, 523-531. <https://doi.org/10.4141/P96-130>
- Guttieri, M. J., Stark, J. C., Brain, K. o., Souza, E. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop science*. 41, 327-335. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412327x>
- Heidari, N., Puryousef, M., Tavakoli, A., 2014. Effect of drought stress on photosynthesis, its related parameters and relative water content of *Pimpinella anisum L.* *Journal of Plant Research*. 27, 839-829. [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1393.27.5.7.3>
- Hosseini, S.Z., Ismaili, A., Nazarian-Firouzabadi, F., Fallahi, H., Nejad, A.R., Sohrabi, S.S., 2021. Genomics dissecting the molecular responses of lentil to individual and combined drought and heat stresses by comparative transcriptomic analysis. *Genomics*. 113, 693-705. <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.>
- Idrissi, O., Houasli, C., Udupa, S. M., De Keyser, E., Van Damme, P., De Riek, J., 2015. Genetic variability for root and shoot traits in a lentil (*Lens culinaris Medik.*) recombinant inbred line population and their association with drought tolerance. *Euphytica*. 204, 693-709. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1373-8>
- Levitt, J., 1980. Responses of plants to environmental stresses; waterradiation, salt and

- stresses. Second Edition, Academic Press New York. 93- 128.
- Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J., 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*. 78(3), 389-398. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>
- Mathobo, R., Marais, D., Steyn, J.M., 2017. The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultural Water Management*. 180, 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.005>
- Mazengo, K.D., Tryphone, G.M., Tarimo, A.J., 2019. Identification of drought selection indices of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes in the Southern Highlands of Tanzania. *African Journal of Agricultural Research*. 14, 161-167. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13370>
- Mitra, J., 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current science*. 80, 758-763. <https://www.jstor.org/stable/24105661>
- Morgil, H., Gercek, Y. C., Caliskan, M., Oz, G. C. 2017. Investigation of the mechanism of physiological tolerance in lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars under drought stress conditions. *European Journal of Biology*. 76, 31-35. <https://doi.org/10.5152/EurJBiol.2017.1706>
- Patel, J.M., Patel, A.S., Patel, C.R., Mamrutha, H.M., Pradeep, S., Pachchigar, K.P., 2019. Evaluation of selection indices in screening durum wheat genotypes combining drought tolerance and high yield potential. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 8, 1165-78. <https://doi.org/10.20546/ijcmias.2019.804.134>
- Pooryamchi, M.A., Bihamta, M.R., Peyghambari, S., Naghavi, M.R. 2011. Evaluation of drought tolerance in Kabuli type chickpea genotypes. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 27, 393- 409. [In Persian].
- Rahimi, M.H., Hooshmand, S., Khodambashi, M. 2016. Evaluation of recombinant lentil inbred lines using drought tolerance indices. *Journal of Crop Plant Ecophysiology*. 1, 926-907. [In Persian].
- Ramirez-Vallejo, P., Kelly, J.D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*. 99, 127-138. <http://doi.org/10.1023/A:1018353200015>
- Ritchie, S. W., Nguyen, H.T., Holaday, A.S., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*. 30, 105-111. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x>
- Rosielle, A.A. Hamblin, J., 1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 21, 943-946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>
- Sarker, A., Erskine, W., Singh, M., 2005. Variation in shoot and root characteristics and their association with drought tolerance in lentil landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 52, 89 – 97. <https://doi.org/10.1007/s10722-005-0289-x>
- Seyedi, S.J., Nabipour, A.R., Vazan, S., 2013. Defining selection indices for drought tolerance in chickpea under terminal drought stresses. *Journal of Crop Breeding*. 5, 98-114. [In Persian].
- Shin, R., Schachtman, D.P., 2004. Hydrogen peroxide mediates plant root cell response to nutrient deprivation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 101, 8827-8832. <https://doi.org/10.1073/pnas.0401707101>
- Shirinzadeh, A., Zarghami, R., Shiri, M.R., 2009. Evaluation of drought tolerance in late and medium maize hybrids -using stress tolerance indices. *Iranian Journal of crop Sciences*. 10, 416-427. [In Persian].
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditioning. *Field Crop Reserch*. 98, 222-229. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.02.001>
- Soltani, A., Torabi, b., 2019. Analysis Plan of Agricultural Experiments (with SAS programs): Jahad University of Mashhad Publication. 434p. [In Persian]
- Terzi, R., Kadioglu, A., 2006. Drought stress tolerance and the antioxidant enzyme system. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*. 48, 89-96. <https://www.researchgate.net/publication/285737923>
- Tofiq, S.E., Aziz, O.K., Salih, S.H., 2016. Correlation and path coefficient analysis of

seed yield and yield components in some faba bean genotypes in Sulaimani region. ARO-The Scientific Journal of Koya University. 4, 1-6. <http://doi.org/10.14500/aro.10081>

Toker, C., Cagirgan, M.I., 2004. The use of phenotypic correlations and factor analysis in determining characters for grain yield selection in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Heredita. 140, 226-228.

<http://doi.org/10.1111/j.1601-5223.2004.01781>.

Tramblay, Y., Koutroulis, A., Samaniego, L., Vicente-Serrano, S.M., Volaire, F., Boone, A., Polcher, J., 2020. Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios. Earth- Science Reviews. 210, 103348. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103348>