



Evaluation of drought tolerance of durum wheat genotypes at germination stage in *in vitro* conditions

Changiz Azizolahi¹ , Alireza Zebarjadi^{1,2} , Abbas Rezaizad³ & Reza Mohammadi⁴

¹ Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.

² Cereal Research Center, Razi University, Kermanshah, Iran.

³ Horticulture Crops Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education center, AREEO, Kermanshah, Iran.

⁴ Dryland Agricultural Research Institute, Sararood Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.

Corresponding author. E-mail: zebarjadi@razi.ac.ir

ABSTRACT

Introduction: Drought stress is one of the most important factors causing disturbances in the growth and development of plants, especially in the germination stage in arid and semi-arid regions. Germination is a sensitive stage of the wheat growth period, which is usually affected by drought stress. Among the crops, wheat has the largest cultivated area and is the most important grain globally. Wheat is the main source of protein and carbohydrates. Almost half of Iran's agricultural land is devoted to wheat cultivation. Durum wheat is the second most important agricultural type of wheat and the tenth most important agricultural product in the world, accounting for about 10% of the world's wheat cultivation area.

Materials and methods: In this study, the germination characteristics and responses of durum wheat genotypes to drought stress were evaluated under laboratory conditions. For this purpose, the germination and growth of seedlings from 20 durum wheat genotypes were tested under moisture stress conditions at three dry levels (zero as a control, -0.4 MPa, and -0.8 MPa) using a polyethylene glycol 6000 solution. The experiment was conducted as a factorial design in a completely randomized design with three replications. The studied traits include germination percentage, speed of germination, seed vigor index, rootlet length, shootlet length, and dry weight of rootlets and shootlets.

Results: The analysis of variance results showed a significant difference between genotypes, water potential (drought stress), and their interaction for all investigated traits. Additionally, with the decrease in water potential, the values of most traits also decreased. The results of correlation analysis showed a very high correlation between speed of germination and germination percentage (1**), as well as shootlet dry weight and shootlet length (0.78**). Among the assessed traits, shootlet length showed the greatest sensitivity to changes in water potential. In general, among the investigated genotypes, Genotypes No. 18 and 20 were identified as drought stress-tolerant, while Genotypes No. 2 and 5 were recognized as drought stress-sensitive.

Conclusion: The obtained results showed that the use of polyethylene glycol significantly reduces the percentage of germination and growth of durum wheat seedlings. The remarkable point was the increase in the length of the rootlet in some genotypes with increasing stress levels, which highlights the importance of rootlet length in dry conditions. It was also observed that with an increase in stress, the percentage of final germination and the speed of germination decreased. In general, the presence of significant genetic diversity among genotypes in terms of drought tolerance made it possible to select superior genotypes.

Keywords: Polyethylene glycol, Drought stress, Seed vigor index.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 11 Feb 2024, Revised: 16 Mar 2024, Accepted: 05 May 2025, Published online: 28 Jun 2025

Cite this article: Azizolahi, C., Zebarjadi, A., Rezaizad, A. & Mohammadi, R. (2025). Evaluation of drought tolerance of durum wheat genotypes at germination stage in *in vitro* conditions. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 4(2), 255-271. DOI: [10.22126/cbb.2025.9004.1042](https://doi.org/10.22126/cbb.2025.9004.1042)



© The Author(s).

[10.22126/cbb.2025.9004.1042](https://doi.org/10.22126/cbb.2025.9004.1042)

Publisher: Razi University



ارزیابی تحمل به خشکی لاین‌های مختلف گندم دوروم در مرحله جوانه‌زنی تحت شرایط آزمایشگاهی

چنگیز عزیزالهی^۱، علیرضا زبر جدی^۲✉، عباس رضایی زاد^۳ و رضا محمدی^۴

^۱ گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

^۲ مرکز تحقیقات غلات، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

^۳ بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.

^۴ موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.

✉ نویسنده مسئول. رایانامه: zebarjadi@razi.ac.ir

چکیده

مقدمه: تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد اختلال در رشد و نمو گیاهان به‌ویژه در مرحله جوانه‌زنی در مناطق خشک و نیمه خشک هست. جوانه‌زنی مرحله‌ای حساس از دوره رشد گندم به شمار می‌رود که معمولاً تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. در بین محصولات زراعی گندم دارای بیش‌ترین سطح زیرکشت و مهم‌ترین غله دنیا می‌باشد. گندم منبع اصلی تامین پروتئین و کربوهیدرات می‌باشد. تقریباً نیمی از زمین‌های زراعی ایران به کشت گندم اختصاص داده شده است. گندم دوروم دومین گونه زراعی مهم گندم و دهمین محصول زراعی مهم دنیا است که حدود ۱۰ درصد کل سطح زیر کشت جهانی گندم را به خود اختصاص داده است.

مواد و روش‌ها: در این آزمایش ویژگی‌های جوانه‌زنی و عکس‌العمل ژنوتیپ‌های گندم دوروم تحت تنش خشکی در شرایط آزمایشگاه مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین‌منظور جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم در شرایط تنش رطوبتی در سه سطح (صفر بعنوان شاهد، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال) به وسیله محلول پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ مورد آزمون قرار گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید. صفات مورد بررسی شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بودند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر ژنوتیپ، تنش خشکی و اثر متقابل آن‌ها برای کلیه صفات مورد بررسی، معنی‌دار بود و با افزایش تنش خشکی، مقدار اغلب صفات نیز کاهش پیدا کرد. نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که سرعت جوانه‌زنی دارای همبستگی مثبت، کامل و معنی‌دار با درصد جوانه‌زنی بود. همچنین، وزن خشک ساقه‌چه با طول ساقه‌چه همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری (۰/۷۸) نشان داد. در بین صفات مورد ارزیابی صفت طول ساقه‌چه حساسیت بیشتری به تغییر تنش خشکی نشان داد. به‌طور کلی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی ژنوتیپ‌های شماره ۱۸ و ۲۰ وضعیت مناسب‌تری داشتند و به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۵ به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی شناخته شدند.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده نشان داد که استفاده از پلی اتیلن گلیکول موجب کاهش قابل توجه درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های گندم دوروم می‌شود. نکته قابل توجه افزایش طول ریشه‌چه در برخی از ژنوتیپ‌ها با افزایش سطح تنش بود که اهمیت طول ریشه‌چه را در شرایط خشکی نشان می‌دهد. همچنین مشاهده شد که با افزایش تنش، درصد جوانه‌زنی نهایی و شاخص سرعت جوانه‌زنی نیز کاهش پیدا کرد. در مجموع وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه در بین ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی، امکان انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مهیا نمود.

واژه‌های کلیدی: پلی اتیلن گلیکول، تنش خشکی، شاخص بنیه بذر.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳ **اصلاح:** ۱۴۰۳/۱۲/۲۶ **پذیرش:** ۱۴۰۴/۰۲/۱۵ **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۴/۰۴/۰۷

استناد: عزیزالهی، چ.، زبر جدی، ع.، رضایی زاد، ع. و محمدی، ر. (۱۴۰۴). ارزیابی تحمل به خشکی لاین‌های مختلف گندم دوروم در مرحله جوانه‌زنی تحت شرایط

آزمایشگاهی. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۴(۲)، ۲۵۵-۲۷۱. DOI: [10.22126/cbb.2025.9004.1042](https://doi.org/10.22126/cbb.2025.9004.1042)



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

خشکی یکی از اصلی‌ترین محدودیت‌های محیطی برای رشد گیاهان و همچنین مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد محصولات زراعی در سیستم‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. پتانسیل آب خاک نیز یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی می‌باشد که بر جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه تاثیر می‌گذارد (Gurvich et al., 2017). حدود نیمی از کل اراضی کشاورزی در جهان تحت تاثیر تنش خشکی می‌باشد که باعث بروز خسارت فراوانی بر تولیدات کشاورزی از طریق ایجاد اختلال در فرآیندهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک می‌شود (Kamrani et al., 2015). بیشتر اراضی ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند و گندم دوروم در ایران بیشتر در دیم‌زارها تولید می‌شود، بنابراین تعیین ژنوتیپ‌هایی از گندم دوروم که تحت شرایط کم‌آبی قادر به ارائه عملکرد قابل قبولی باشند امری ضروری است. تنش خشکی با تاثیر بر انتقال مواد ذخیره‌ای به بذر، در گیاه مادری سبب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر می‌شود (Attarzadeh et al., 2019). حساس‌ترین مرحله‌ی زندگی یک گیاه مرحله‌ی جوانه‌زنی و زمانی است که گیاه به‌صورت گیاهچه‌ای کوچک می‌باشد، گذراندن موفقیت‌آمیز این دوره نقش مهمی در مراحل بعدی رشد و استقرار گیاه خواهد داشت (Zebarjadi et al., 2012). شدت تنش و اثرات مخرب آن، با توجه به گونه گیاهی متفاوت است و باید از بروز تنش خشکی شدید در مرحله-ی جوانه‌زنی جلوگیری شود و در مرحله استقرار گیاهچه

نباید به‌صورت طولانی مدت در معرض تنش قرار گیرد (Li et al., 2013). به‌طور کلی گیاهانی که دارای مقاومت و رشد بیشتر ریشه‌چه و ساقه‌چه در این مرحله باشند در مرحله گیاهچه‌ای و مراحل دیگر نیز مقاومت بیشتری به خشکی نشان می‌دهند (Akhawan Armaki et al., 2013). در شرایط مزرعه‌ای به دلیل وقوع بارش باران، ارزیابی تنش خشکی دشوار می‌باشد. بررسی خشک‌سالی با استفاده از محلول‌های اسمزی یکی از روش‌های، ارزیابی مقاومت به خشکی در مرحله جوانه‌زنی است (Muscolo et al., 2013). پلی اتیلن گلیکول^۱ (PEG) ماده‌ای غیر سمی است که در بافت‌های گیاه نفوذ نمی‌کند به این معنی که برخلاف موادی همانند کلرید سدیم، مانیتول و ساکارز، باعث صدمه به گیاه نمی‌شود و تنشی شبیه به محیط خاک تحمیل می‌کند (Whalley et al., 1998). درصد، سرعت و بنیه جوانه زنی بالا، تحت شرایط متنوع محیطی از خصوصیات مناسب بذرهای گیاهان زراعی برای کشت خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. نتایج بدست آمده از اکثر تحقیقات انجام شده نشان داد که با کاهش سطوح قابلیت اسمزی درصد جوانه‌زنی، سرعت و بنیه جوانه‌زنی کاهش یافت (Abiri et al., 2016). مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در بسیاری از گیاهان، درصد و سرعت جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل آب (افزایش تنش خشکی) کاهش می‌یابد (Ullah et al., 2022 & Kiani et al., 2020). زارعی و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه بیست

^۱- Polyethylene glycol

۱۰ ثانیه با الکل ۹۶ درصد ضدعفونی شدند و سپس به مدت ۵ دقیقه در هیپوکلریت سدیم ۱/۵ درصد ضدعفونی شدند. در این آزمایش از ظروف پتری استریل استفاده شد که کف آن با کاغذ صافی واتمن پوشیده شده بود استفاده شد. در هر پتری دیش تعداد ۱۵ عدد بذر قرارگرفت و سپس ۱۰ میلی‌لیتر از محلول‌های آماده شده به آنها اضافه شد. پتری‌دیش‌ها داخل انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ روز نگهداری شد. با شروع جوانه‌زنی تعداد بذور جوانه‌زده هر دو روز یکبار یادداشت برداری شد (بذوری جوانه‌زده تلقی شدند که طول ریشه-چه آنها ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود) (Maguire, 1962). در آخرین روز (روز هشتم) طول ریشه‌چه و ساقه‌چه اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌ها در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرارگرفت و وزن خشک آن‌ها با ترازو (با دقت ده هزارم) اندازه‌گیری شد. در طی آزمایش شاخص بنیه بذر، سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، وزن تر و خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و همچنین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه‌های سالم که طول ریشه‌چه آنها ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود، اندازه‌گیری شد (Willenborg *et al.*, 2004).

ژنوتیپ گندم نان در شرایط مزرعه و آزمایشگاه گزارش کردند که ژنوتیپ‌های تحمل‌کننده تنش خشکی در شرایط مزرعه، از تحمل بالایی نیز در شرایط آزمایشگاه (مرحله جوانه‌زنی) برخوردار بودند. با توجه به اهمیت مرحله جوانه‌زنی و همچنین اهمیت گندم تحقیقات مختلف توسط سایر محققین نیز انجام گرفته است (Geravandi *et al.*, 2010; Saidi *et al.*, 2007). تحقیق حاضر با هدف بررسی و مطالعه صفات مربوط به جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف گندم دوروم تحت شرایط تنش خشکی و تعیین ژنوتیپ‌های برتر، جهت کشت در اراضی زراعی دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در آزمایشگاه تنش‌های زیستی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی (CRD) با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ اجراء شد. فاکتور اول شامل ۲۰ ژنوتیپ (جدول ۱) گندم دوروم (تهیه شده از معاونت موسسه تحقیقات دیم سرارود کرمانشاه) و فاکتور دوم شامل سطوح تنش خشکی (صفر، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسگال) بود. در این پژوهش از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ (Merck) برای دست‌یابی به سطوح مختلف تنش خشکی استفاده گردید. بدین منظور بذور سالم و خالص گندم به‌طور تصادفی انتخاب و به مدت

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of the studied genotypes

شماره (No.)	نام رقم/لاین (Line)	شماره (No.)	نام رقم/لاین (Line)
1	Saji (check)	11	Kizitan-91
2	Rascon_37/4/magh72/rufo//alg86/ru/3/plata_16	12	Altin40-98
3	61-130	13	Yilmaz
4	61-130/414-44//377-2/4/Df/21-72//61-130//Uvy/3/188/-13/5/18-1-4-1	14	Cmk79//414-44/Ovi/3/Berk/Ovi
5	61-130/414-44//377-2/4/Df/21-72//61-130//Uvy/3/188/-13/5/18-1-4-2	15	Df21-72/Gdovz466//Nd61
6	61-130/414-44//377-2/4/Df/21-72//61-130//Uvy/3/188/-13/5/18-1-4-3	16	Mirzabey-2000
7	Altintash	17	Received from Gene Bank spII-1
8	Kumbet	18	Received from Gene Bank spII-2
9	Yelken	19	Plata_10/6/Mque/4/Usda573//Qfn/AA_7/3/Alba d/ 5/Avo/Hui/7/Plata_13/8/Thknee_11/9/Chen/Alta r84/ 3/Hui/POC//Bub/Rufo/4/Fnfoot/10/Green_32/Ch en_ 7//Silver_14/3/Dipper_2/Bushen_3/4/Snitan
10	Selcuklu	20	Icamor-TA04-62/4/Gdr-2//Sw Algia/Gdr1)43/3/ Icamor-TA04-63/5/Ter-1//Mrf1/Stj2

درصد جوانه‌زنی بذرها از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (Gharoobi *et al.*, 2012).

$$100 \times (\text{تعداد کل بذرها در هر پتری دیش} / \text{تعداد بذرهای جوانه‌زده نرمال}) = \text{درصد جوانه‌زنی (رابطه ۱)}$$

در روز هشتم همه‌ی بذرهای جوانه زده مورد ارزیابی قرار گرفت و صفات طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه مورد اندازه‌گیری قرار

گرفت و سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۲ محاسبه شد (Gharoobi *et al.*, 2012).

$$(\text{تعداد روزها پس از شروع آزمایش} / \text{تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز } t_m) \times 100 = \text{سرعت جوانه‌زنی (رابطه ۲)}$$

همچنین، شاخص بنیه بذر از رابطه ۳ بدست آمد (Abdul-Baki & Anderson, 1970).

$$100 / (\text{مجموع طول ریشه‌چه و ساقه‌چه} \times \text{درصد جوانه‌زنی}) = \text{شاخص بنیه بذر (رابطه ۳)}$$

زنی کاسته می‌شود که این نتایج با یافته‌های تحقیق حاضر همخوانی نشان می‌دهد. همچنین افزایش تنش خشکی سبب کاهش پتانسیل اسمزی محیط جوانه‌زنی می‌گردد و همین موضوع موجب می‌شود که رطوبت کمتری در اختیار بذور قرار گرفته و نهایتاً باعث کاهش درصد جوانه‌زنی می‌گردد و مقدار این کاهش در ژنوتیپ‌های مختلف در پتانسیل‌های اسمزی یکسان متفاوت می‌باشد (Zebarjadi *et al.*, 2012).

سرعت جوانه‌زنی

این صفت از جمله معیارهای مهم ارزیابی تحمل به خشکی است، به نحوی که ژنوتیپ‌های دارای سرعت جوانه‌زنی بالاتر از شانس بیشتری برای سبز شدن برخوردار هستند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد، بین ژنوتیپ‌ها و سطوح مختلف تنش خشکی برای صفت سرعت جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). براساس جدول مقایسه میانگین ژنوتیپ ۱۸ با ۱۱/۲۴ بالاترین سرعت جوانه‌زنی و ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۵ به ترتیب با ۳/۰۲ و ۵/۵۷ کمترین سرعت جوانه‌زنی را داشتند (جدول ۴). با افزایش تنش خشکی، کاهش معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی مشاهده شد که با نتایج زبرجدی و همکاران (Zebarjadi *et al.*, 2012) بر روی گیاه گلرنگ مطابقت داشت. بر اساس میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح مختلف خشکی، با منفی شدن پتانسیل آب برای کلیه ژنوتیپ‌ها سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت به جز ژنوتیپ‌های ۷ و ۱۶ که سرعت جوانه‌زنی آن‌ها در سطح ۰/۴- بیشتر از شاهد (صفر) بود و در سطح ۰/۸- دوباره

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9 انجام گرفت. مقایسه میانگین اثرات متقابل با نرم افزار MSTATC با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها با استفاده از EXCEL رسم شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفت درصد جوانه‌زنی اختلاف بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها، سطوح تنش خشکی و اثر متقابل آن‌ها را نشان می‌دهد، که این امر نشان‌دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها به تغییرات سطوح مختلف تنش خشکی است (جدول ۲). جدول مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ ۱۸ با ۹۴/۸۱ درصد بالاترین درصد جوانه‌زنی و ژنوتیپ‌های ۵، ۸ و ۴ به ترتیب با ۶۸/۸۹، ۷۰/۳۷ و ۷۱/۱۱ درصد کمترین درصد جوانه‌زنی را داشتند (جدول ۴). با افزایش سطح تنش خشکی میزان درصد جوانه‌زنی کاهش بیشتری نشان داد و بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد و کمترین درصد جوانه‌زنی در سطح ۰/۸- مگاپاسگال مشاهده گردید. با افزایش تنش خشکی از صفر به ۰/۸- بیش از ۶۰ درصد کاهش در درصد جوانه‌زنی مشاهده گردید (جدول ۳). آزمایشات بررسی درصد جوانه‌زنی گندم در اثر تنش خشکی توسط جاجرمی (Jajarmi, 2015) و سعیدی و همکاران (Saidi *et al.*, 2007) نشان داده است که با افزایش سطوح خشکی از میزان درصد جوانه-

کاهش پیدا کرد (شکل ۱). گراوندی و همکاران (Geravandi et al., 2010) بیان داشتند که سرعت جوانه‌زنی حساسیت بیشتری نسبت به درصد جوانه‌زنی به تنش خشکی نشان می‌دهد. کاهش جذب آب توسط بذر در اثر افزایش تنش خشکی سبب کاهش هدایت هیدرولیکی می‌گردد و در نتیجه فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی مرتبط با جوانه‌زنی در بذر تحت تاثیر قرار می‌گیرد که این امر احتمالاً سبب کاهش میزان سرعت جوانه‌زنی تحت این شرایط می‌گردد. کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی با افزایش تنش خشکی در بسیاری از گیاهان مثل گندم نان (Abdi et al., 2015) رازبانه و زینان (Fakheri et al., 2017) گزارش شده‌است، بطوری‌که کاهش سرعت جوانه‌زنی طی تنش خشکی را با

کاهش پتانسیل آب و کاهش دسترسی بذور به آب مرتبط دانسته‌اند. با افزایش دما و محتوی رطوبت بذر طی زمان، سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد و سرعت جوانه‌زنی تفاوت بین بذور انبار شده را بهتر نشان می‌دهد (Alivand et al., 2010)، چنانچه جذب آب توسط بذر دچار اختلال شود و یا به کندی صورت گیرد فعالیت‌های داخل بذر به آرامی صورت گرفته و مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش می‌یابد، به عبارتی سرعت جوانه‌زنی بذر کاهش پیدا می‌کند. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که با سرعت بیشتری جوانه می‌زنند، فرصت بیشتری برای تکمیل رشد رویشی دارند (Jafarnejad et al., 2009).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مرتبط با جوانه‌زنی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم تحت تاثیر پتانسیل‌های متفاوت

Table 2- Analysis of variance related to germination in wheat genotypes in different potentials

شاخص بنیه بذر Seed vigor index	سرعت جوانه‌زنی Speed of Germination	درصد جوانه‌زنی % Germination	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
**1358.85	**30.180	**408.18	19	ژنوتیپ (Genotype)
**1044709.24	**2233.91	**67548.45	2	سطوح پتانسیل (Level of Potential)
**1843.69	**8.96	**286.71	38	ژنوتیپ*سطوح پتانسیل (Genotype*Level of Potential)
567.68	1.185	133.79	120	خطا (Error)
15.15	14.17	1.96		ضریب تغییرات (CV%)
157.24	7.68	77.29	-	میانگین (Mean)
181.34	11.24	94.81	-	حداکثر (Maximum)
151.77	3.02	68.89	-	حداقل (Minimum)

***: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

***: Significant at the probability level of %1.

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	طول ریشه‌چه Length of Rootlet	طول ساقه‌چه Length of Shootlet	وزن خشک ریشه‌چه Dry weight of Rootlet	وزن خشک ساقه‌چه Dry weight of shootlet
ژنوتیپ (Genotype)	19	**637.83	**797.2	**688.35	**1592.5
سطوح پتانسیل (Level of Potential)	2	**255514.7	**261731.5	**241960.4	**480442.3
ژنوتیپ*سطوح پتانسیل (Genotype*Level of Potential)	38	**906.01	**452.82	**610.46	**990.0
خطا (Error)	120	295.58	71.82	155.97	144.53
ضریب تغییرات (CV%)		17.82	12.25	14.72	13.13
میانگین (Mean)	-	96.46	96.17	84.86	91.57
حداکثر (Maximum)	-	110.02	78.09	104.29	21.9
حداقل (Minimum)	-	73.93	55.33	68.96	71.94

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** : Significant at the probability level of %1.

شاخص بنیه بذر

یکی دیگر از خصوصیات مهم جوانه‌زنی بنیه بذر است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس این صفت (جدول ۲) نشان‌داد که اثر متقابل ژنوتیپ و پتانسیل‌های مختلف تنش خشکی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ دارند. با افزایش شدت تنش خشکی شاخص بنیه بذر در کلیه ژنوتیپ‌ها کاهش نشان‌داد. ژنوتیپ ۱۷ با ۱۸۱/۳۴ بیشترین و ژنوتیپ‌های ۱، ۸ و ۹ به‌ترتیب با ۱۳۵/۴۷، ۱۳۹/۴۹ و ۱۴۰/۸۲ کمترین بنیه بذر را داشتند (جدول ۴). بر اساس شکل ۱ ژنوتیپ ۱۷ در سطح شاهد بیشترین میزان بنیه بذر را داشت و در سطح ۰/۸- کلیه ژنوتیپ‌ها با کاهش شدید بنیه جوانه‌زنی همراه بودند. سعیدی و همکاران (Saidi et al., 2007) در ارزیابی ویژگی‌های جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف گندم به نتایج مشابهی دست یافتند. کاپلند و مک‌دونالد (Copland & Mc

Donald, 1995) بیان کردند یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر در کاهش بنیه بذر، وقوع تنش رطوبت در طی نمو بذر می‌باشد، زیرا در اثر کمبود آب انتقال مواد جذب شده از برگ‌ها به‌طرف دانه‌ها کاهش می‌یابد و چون تنش خشکی در این دوره همراه با گرما است، باعث چروکیدگی شدن دانه‌ها می‌شود. آبیاری باعث افزایش درصد جذب مواد معدنی بجز نیتروژن می‌شود و کیفیت بذر را بهبود می‌بخشد. بنابراین هر چند توان جوانه‌زنی، به خصوصیات ژنتیکی ژنوتیپ‌ها بستگی دارد، ولی این توانایی تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد اگر شرایط رطوبتی مزرعه در زمان کشت نامناسب باشد، ژنوتیپ‌هایی که در زمان پرشدن دانه‌ها با تنش رطوبتی مواجه شده‌اند از سبزی و بنیه گیاهچه‌ای پایین‌تری در ابتدای فصل برخوردار می‌باشند.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

بیشتر با شرایط تنش رطوبتی، مقدار بیشتری ماده غذایی به ریشه‌ها اختصاص می‌دهند و از این طریق سطح تماس بیشتری را جهت جذب آب ایجاد می‌نمایند.

در صفت طول ساقه‌چه نیز بر اساس جدول مقایسه میانگین اثر متقابل بیشترین طول ساقه‌چه در سطح شاهد (آب مقطر) مربوط به ژنوتیپ‌های ۷ و ۱۷ بود و کلیه ژنوتیپ‌ها در سطح ۰/۸- کمترین طول ساقه‌چه را دارا بودند. منفی‌تر شدن پتانسیل خشکی باعث کاهش معنی- دار این صفت گردید. با کاهش پتانسیل آب از صفر به ۰/۸- طول ساقه‌چه بیش از ۹۳٪ کاهش نشان داد (جدول ۳). طول ساقه‌چه از نظر حساسیت به تغییر پتانسیل آب و حساسیت بیشتر نسبت به طول ریشه‌چه به تغییر پتانسیل آب، می‌تواند پارامتر بسیار مناسبی برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی باشد. این نتایج با گزارشات مرجانی و همکاران (Mrjani et al., 2006) در نخود، جاجرمی (Jajermi et al., 2012) در گندم نان، گراوندی و همکاران (Geravandi et al., 2010) در گندم و همچنین گزارش زبرجدی و همکاران (Zebarjadi et al., 2012) در گلرنگ مطابقت داشت. مرجانی و همکاران (Mrjani et al., 2006) نیز عنوان کردند طول ساقه‌چه به تغییر پتانسیل خشکی حساسیت بسیار بالایی داشته و می‌تواند مثل ریشه‌چه پارامتر بسیار مناسبی جهت ارزیابی تحمل به خشکی باشد.

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که بین ژنوتیپ‌ها، اثر سطوح مختلف تنش خشکی و اثر متقابل آنها برای طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح مختلف تنش، بالاترین طول ریشه‌چه مربوط به سطح شاهد (آب مقطر) و ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۱۶ بود و کمترین طول ریشه‌چه نیز در سطح ۰/۸- مربوط به ژنوتیپ‌های ۸ و ۱ بود. با منفی‌تر شدن سطوح خشکی، از میزان طول ریشه‌چه کاسته شد و طول ریشه‌چه از ۶۷/۱۶ میلی‌متر در سطح شاهد (آب مقطر) به ۷/۸۷ میلی‌متر در سطح ۰/۸- رسید. ژنوتیپ- های مختلف جهت تطابق بیشتر با شرایط تنش رطوبتی مقدار بیشتری مواد غذایی به ریشه اختصاص داده و از این طریق سطح تماس بیشتری جهت جذب آب و در نهایت مقاومت بیشتر به تنش رطوبتی ایجاد می‌کنند (Jajermi, 2015). جوانه‌زنی صفتی است که با ظهور ریشه‌چه مرتبط می‌باشد. ریشه‌چه قبل از اندامهای دیگر گیاه از بذراماس کرده بیرون می‌آید و در نتیجه قبل از اندام‌های دیگر در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد. بنابراین اندازه طول ریشه‌چه معیار مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی می‌باشد زیرا آنچه سبب کاهش طول ریشه‌چه می‌شود، محدود شدن تحرک ذخایر بذر در اثر کاهش پتانسیل آب می‌باشد (Copland & Mc Donald, 1995). سعیدی و همکاران (Saidi et al., 2007) بیان نمودند ژنوتیپ‌های مختلف، به‌منظور تطابق

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر صفات مورد ارزیابی

Table 3- Mean comparison of the effect of different levels of drought stress on assessment traits

شاخص بنیه بذر Seed vigor index	درصد جوانه‌زنی % Germination	سرعت جوانه زنی Speed of Germination	وزن خشک ساقه‌چه Dry weight of Shootlet (میلی گرم) mg	وزن خشک ریشه‌چه Dry weight of Rootlet (میلی گرم) mg	طول ساقه‌چه Length of Shootlet (میلی متر) mm	طول ریشه‌چه Length of Rootlet (میلی متر) mm	سطوح پتانسیل (Levels of Potential)
271.97 ^a	99.22 ^a	13.16 ^a	181.67 ^a	123.2 ^a	135.12 ^a	139.12 ^a	0
186.71 ^b	94.00 ^b	8.78 ^b	90.33 ^b	119.81 ^b	69.37 ^b	128.93 ^b	-0.4
13.05 ^c	38.67 ^c	1.11 ^c	2.71 ^c	11.55 ^c	3.03 ^c	21.34 ^c	-0.8

اعدادی که در هرستون دارای حروف مشترک هستند با هم اختلاف معنی دار ندارند (در سطح احتمال ۵ درصد).

Numbers in each column with the same letters, are not significant ($p>0.05$)

وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه

با افزایش تنش خشکی وزن خشک ریشه‌چه کاهش یافت، به‌طوری که در سطح شاهد (صفر) وزن خشک ریشه‌چه برابر با ۱۲۳/۲ میلی‌گرم و در پتانسیل ۰/۸- برابر با ۱۱/۵۵ میلی‌گرم می‌باشد (جدول ۳). اثر متقابل ژنوتیپ در پتانسیل تنش خشکی برای این صفت در سطح ۱٪ معنی‌دار است، به نحوی که ژنوتیپ ۱۹ در سطح شاهد (صفر) بالاترین وزن خشک ریشه‌چه و ژنوتیپ‌های ۸، ۲ و ۵ کمترین وزن خشک ریشه‌چه را در سطح ۰/۸- داشتند. تاثیر پتانسیل، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها برای صفت وزن خشک ساقه‌چه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ مشاهده شد (جدول ۲). با کاهش پتانسیل آب از صفر به ۰/۸- وزن خشک ساقه‌چه از ۱۸۱/۶۷ میلی‌گرم به ۲/۷۱ میلی‌گرم رسید (جدول ۳). بر اساس جدول مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و پتانسیل تنش خشکی، ژنوتیپ ۸ در سطح شاهد بالاترین مقدار و کلیه ژنوتیپ‌ها

به جز ژنوتیپ‌های ۱۸ و ۲۰ در سطح ۰/۸- کمترین مقدار را از نظر این صفت داشتند. بنابراین با افزایش تنش خشکی وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش می‌یابد. نتایج این آزمایش با گزارشات کافی و همکاران (Kafi *et al.*, 2005) که روی ژنوتیپ‌های عدس انجام شد مطابقت دارد. نبی‌زاده و همکاران (Nabizade *et al.*, 2007) چهار لاین گندم زمستانه را در شرایط تنش خشکی آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده و آن‌ها را بر اساس صفات اندازه‌گیری شده در سه گروه متحمل، نیمه‌حساس و حساس قرار دادند. ارقام گروه متحمل از طول، وزن تر و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه بالاتری برخوردار بودند. نامبردگان نتیجه‌گیری کردند از این نسبت می‌توان برای ارزیابی تحمل به خشکی استفاده نمود، بدین ترتیب که نسبت بالاتر نشان دهنده تحمل به خشکی بالاتر می‌باشد. به‌طور کلی با افزایش تنش خشکی، همه صفات روند کاهشی داشته و از

این نظر تفاوت معنی‌دار بین سطوح تنش وجود داشت که

با نتایج تحقیقات (Abiri *et al.*, 2016) مطابقت دارد.

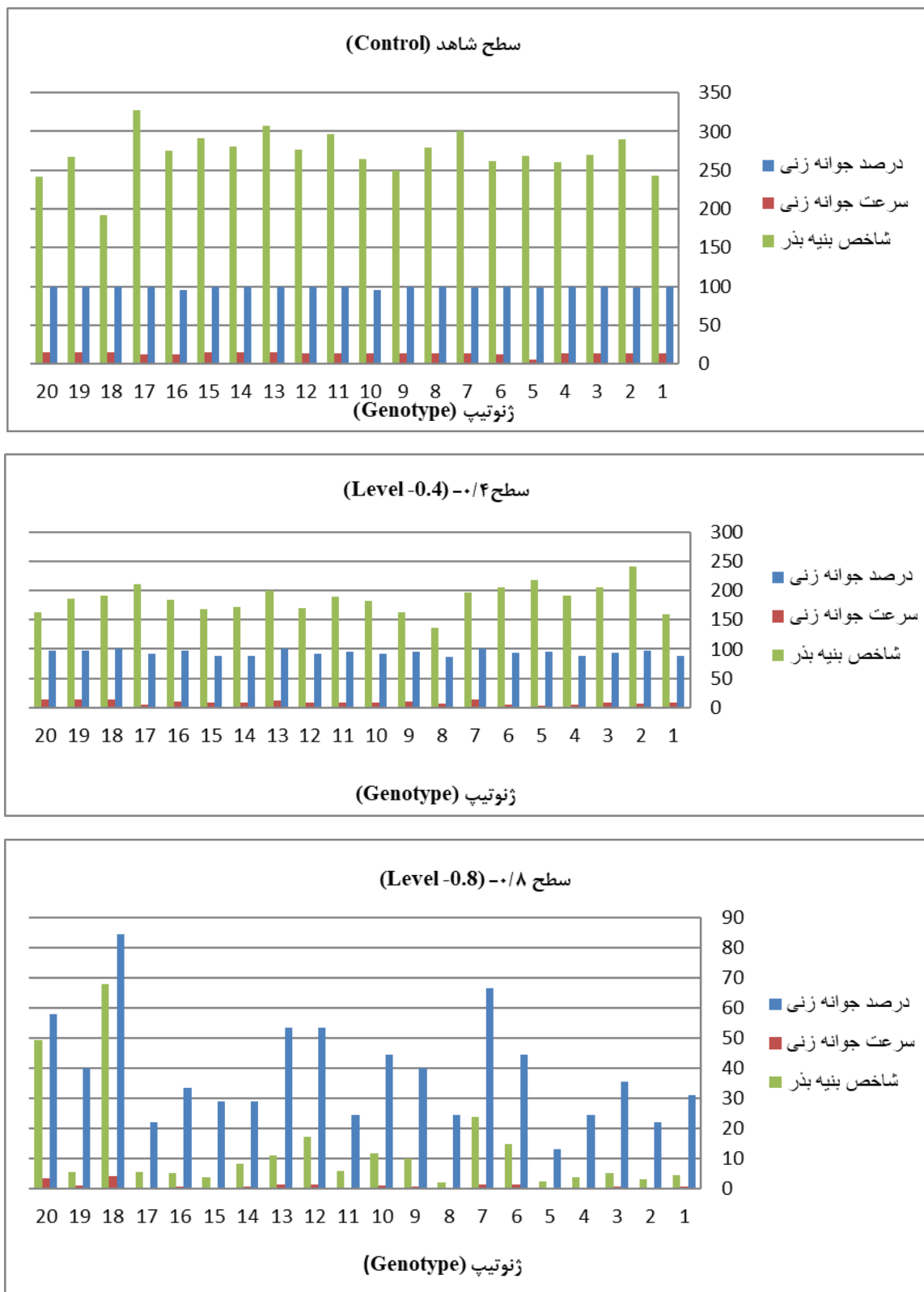
جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مختلف مرحله جوانه‌زنی در پتانسیل‌های مختلف

Table 4- Mean comparison of the characteristics of germination stages in different potentials

شاخص بنیه بذر Seed vigor index	سرعت جوانه زنی Speed of Germination	درصد جوانه‌زنی % Germination	وزن خشک ساقه- چه Dry weight of Shootlet (میلی گرم) mg	وزن خشک ریشه چه Dry weight of Rootlet (میلی گرم) Mg	طول ساقه چه Length of Shootlet mm (میلی متر)	طول ریشه- چه Length of Rootlet (میلی متر) mm	صفات (Traits) ژنوتیپ Genotyps
135.47 ^e	7.59 ^{ef}	73.32 ^{cd}	101.78 ^{bcd}	79.23 ^{defgh}	71.20 ^{cdef}	73.93 ^c	1
177.88 ^{ab}	6.82 ^{fgh}	72.58 ^{cd}	108.15 ^b	83.85 ^{cdefg}	87.08 ^a	99.11 ^{ab}	2
160.11 ^{abcde}	7.55 ^{ef}	76.30 ^{bcd}	99.28 ^{bcd}	75.48 ^{efgh}	74.92 ^{cde}	93.17 ^{ab}	3
151.77 ^{bcde}	6.32 ^{ghi}	71.11 ^d	94.82 ^{cde}	73.95 ^{gh}	68.38 ^{defg}	95.03 ^{ab}	4
163.23 ^{abcd}	3.02 ^j	68.88 ^d	111.48 ^{ab}	68.95 ^h	83.98 ^{ab}	88.85 ^{bc}	5
160.38 ^{abcde}	6.07 ^{hi}	79.25 ^{bcd}	104.43 ^{bc}	77.52 ^{defgh}	78.80 ^{abc}	91.07 ^{abc}	6
173.62 ^{abc}	9.19 ^{cd}	88.14 ^{ab}	85.52 ^{efgh}	81.55 ^{defgh}	76.71 ^{bcd}	101.17 ^{ab}	7
139.49 ^{de}	6.73 ^{fgh}	70.36 ^d	81.50 ^{fghi}	85.70 ^{bcdefg}	59.18 ^{ghij}	89.64 ^{bc}	8
140.82 ^{de}	8.34 ^{de}	78.51 ^{bcd}	74.55 ^{hi}	88.43 ^{bcdef}	59.46 ^{ghij}	88.64 ^{bc}	9
152.68 ^{bcde}	7.66 ^{ef}	77.04 ^{bcd}	71.94 ⁱ	82.63 ^{defg}	67.36 ^{efgh}	99.61 ^{ab}	10
163.97 ^{abcd}	7.73 ^{ef}	73.34 ^{cd}	80.30 ^{ghi}	86.26 ^{bcdefg}	66.27 ^{efgh}	105.33 ^{ab}	11
154.57 ^{bcde}	7.83 ^{ef}	81.46 ^{bcd}	89.56 ^{defg}	90.47 ^{bcd}	65.00 ^{fghi}	97.44 ^{ab}	12
172.80 ^{abc}	9.21 ^{cd}	84.45 ^{abc}	80.91 ^{ghi}	104.28 ^a	65.00 ^{fghi}	110.02 ^a	13
153.63 ^{bcde}	7.55 ^{ef}	72.58 ^{cd}	90.55 ^{defg}	83.18 ^{defg}	66.35 ^{efgh}	100.74 ^{ab}	14
154.31 ^{bcde}	7.49 ^{ef}	72.60 ^{cd}	93.98 ^{cdef}	86.57 ^{bcdefg}	72.77 ^{cdef}	91.54 ^{abc}	15
154.57 ^{bcde}	7.29 ^{efg}	75.53 ^{bcd}	76.08 ^{hi}	89.40 ^{bcde}	58.67 ^{hij}	104.93 ^{ab}	16
181.34 ^a	5.57 ⁱ	71.11 ^d	121.91 ^a	74.90 ^{fgh}	84.34 ^{ab}	109.74 ^a	17
150.39 ^{cde}	11.24 ^a	94.81 ^a	94.17 ^{cdef}	97.22 ^{abc}	55.33 ^j	99.17 ^{ab}	18
152.99 ^{bcde}	9.76 ^{ab}	79.25 ^{bcd}	89.55 ^{defg}	97.65 ^{ab}	65.64 ^{fghi}	91.38 ^{abc}	19
150.79 ^{cde}	10.70 ^{ab}	85.18 ^{abc}	80.85 ^{ghi}	89.81 ^{bcd}	56.94 ^{ij}	98.71 ^{ab}	20

اعدادی که در هرستون دارای حروف مشترک هستند اختلاف معنی دار ندارند (در سطح احتمال ۵ درصد).

Numbers with the same letters in each column, do not have significant different ($p>0.05$)



شکل ۱ - مقایسه میانگین درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی و بنیه بذر لاین‌های گندم دوروم در سطح شاهد، ۰/۴- و ۰/۸-

Picture 1 – Mean comparison of the percentage of germination, speed of germination and seed vigor index of durum wheat lines in the control level, -0.4 and -0.8

همبستگی صفات در آزمون جوانه‌زنی

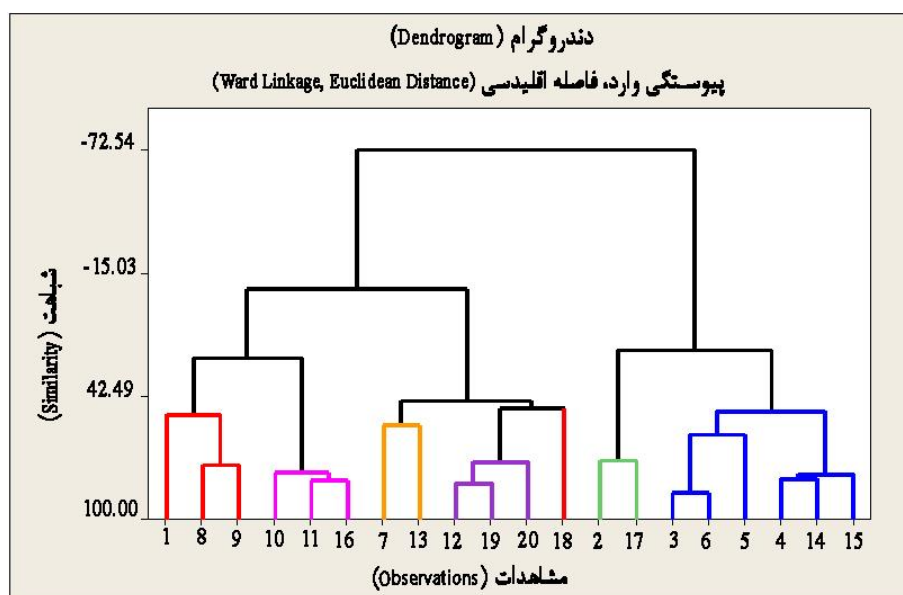
نتایج حاصل از جدول همبستگی صفات (جدول ۵) نشان داد که بین همه صفات اندازه‌گیری شده همبستگی بالایی در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت. این نشان دهنده آن است که این صفات برای شرایط تنش مناسب هستند و گزینش بر اساس این صفات برای مقاومت به تنش مناسب خواهد بود. ژنوتیپ‌های با تحمل بیشتر به خشکی در مرحله جوانه‌زنی، از درصد و سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار هستند (Geravandi *et al.*, 2010). سرعت جوانه‌زنی بیشترین همبستگی را با درصد جوانه‌زنی (۱) داشت. این نتیجه حاکی از وجود یک رابطه منطقی بین دو صفت می‌باشد به‌طوری که هرچه درصد جوانه‌زنی بیشتر باشد سرعت جوانه‌زنی نیز افزایش می‌یابد. این نتایج با نتایج چقا‌کبودی و همکاران (Chaghakbodi *et al.*, 2012) مطابقت داشت. همچنین صفت سرعت جوانه‌زنی با وزن خشک ریشه‌چه همبستگی مثبت و معنی‌دار (۰/۶۰) و با طول ساقه‌چه همبستگی منفی (۰/۴۳-) داشت. صفت درصد جوانه‌زنی با صفت وزن خشک ریشه‌چه همبستگی مثبت و معنی‌دار (۰/۶۰) و با

طول ساقه‌چه همبستگی منفی (۰/۴۳-) داشت. پس هرچه وزن خشک ریشه‌چه بیشتر باشد یعنی توده ریشه‌ای بیشتر بوده و توانایی جذب آب و املاح افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی بیشتر خواهد بود و با کاهش توده ریشه‌ای طول ساقه‌چه بیشتر شده و در نتیجه سرعت و درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. شاخص بنیه بذر با طول ریشه‌چه (۰/۶۸) و طول ساقه‌چه (۰/۶۶) همبستگی مثبت و معنی‌دار و وزن خشک ساقه‌چه (۰/۴۳) همبستگی مثبت در سطح احتمال ۵ درصد داشت. صفت طول ساقه‌چه با وزن خشک ساقه‌چه همبستگی مثبت و بالایی (۰/۷۸) داشتند. نتایج بدست آمده با بخشی از نتایج جعفرنژاد و همکاران (Jafarnejad *et al.*, 2009) و سعیدی و همکاران (Saidi *et al.*, 2007) بر روی گندم مطابقت داشت. بر اساس تجزیه کلاستر، ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۹ و ۲۰ در یک کلاستر قرار گرفتند، این ژنوتیپ‌ها دارای طول ریشه‌چه بالا، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بالا و طول ساقه‌چه کمتر بودند (شکل ۲).

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مختلف ژنوتیپ‌های گندم در مرحله جوانه‌زنی

Table 5- Correlation coefficients between different traits of wheat genotypes in the germination stage

صفات Traits	شاخص Seed Vigor Index	درصد جوانه- زنی % Germination	سرعت جوانه- زنی Speed of Germination	طول ریشه‌چه Length of Rootlet	طول ساقه‌چه Length of Shootlet	وزن خشک ریشه‌چه Dry weight of Rootlet	وزن خشک ساقه‌چه Dry weight of Shootlet
شاخص بنیه بذر	1						
درصد جوانه‌زنی	0.02	1					
سرعت جوانه‌زنی	0.02	**1	1				
طول ریشه‌چه	**0.68	0.24	0.24	1			
طول ساقه‌چه	**0.66	*-0.43	*-0.43	-0.04	1		
وزن خشک ریشه- چه	-0.11	**0.60	**0.60	0.30	**0.65	1	
وزن خشک ساقه- چه	*0.43	-0.32	-0.32	-0.15	**0.78	**0.56	1



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌های گندم دوروم بر اساس صفات مورد مطالعه

Picture 2- Dendrogram of cluster analysis of durum wheat genotypes based on studied traits

نتیجه‌گیری کلی

در درصد جوانه‌زنی مشاهده گردید (جدول ۳). براساس

جدول مقایسه میانگین ژنوتیپ ۱۸ با ۱۱/۲۴ بالاترین سرعت جوانه‌زنی و ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۵ به ترتیب با ۳/۰۲ و ۵/۵۷ کمترین سرعت جوانه‌زنی را داشتند (جدول ۴). بر اساس شکل ۱ ژنوتیپ ۱۷ در سطح شاهد بیشترین میزان بنیه بذر را داشت و در سطح ۰/۸- کلیه ژنوتیپ‌ها با کاهش شدید بنیه جوانه‌زنی همراه بودند. با منفی‌تر شدن سطوح خشکی از میزان طول ریشه‌چه کاسته شد و طول ریشه‌چه از ۶۷/۱۶ میلی‌متر در سطح شاهد (آب مقطر) به ۷/۸۷ میلی‌متر در سطح ۰/۸- رسید. با افزایش تنش خشکی وزن خشک ریشه‌چه کاهش یافت، به‌طوری که در سطح شاهد (صفر) وزن خشک ریشه‌چه برابر با ۱۲۳/۲ میلی‌گرم و در پتانسیل ۰/۸- برابر با ۱۱/۵۵ میلی‌گرم می‌باشد (جدول ۳).

نتایج این آزمایش نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش سرعت، درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر می‌شود. با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های شماره ۱۸ و ۲۰ در اکثر صفات مورد آزمایش، وضعیت مطلوبی را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان دادند، می‌توان آن‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش در مرحله جوانه‌زنی در نظر گرفت و برای کاشت در مناطقی که با کمبود بارندگی مواجه هستند توصیه کرد و ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۵ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. با افزایش سطح تنش خشکی میزان درصد جوانه‌زنی کاهش بیشتری نشان‌داد و بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد و کمترین درصد جوانه‌زنی در سطح ۰/۸- مگاپاسکال بود. به‌طوری که با افزایش تنش خشکی از صفر به ۰/۸- بیش از ۶۰ درصد کاهش

References

- Abdi, H., Bihamta, M.R., Aziz-Ov, E., & Chogan, R. 2015. Investigation effect of drought stress level of PEG 6000 on seed germination principle and its relation with drought tolerance index in promising lines and cultivars of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 12(4), 582 - 596. (In Persian).
- Abdul-Baki, A.A., & Anderson, J.D. 1970. Viability and leaching of sugars from germinating barley. Crop Science, 10, 31-34.
- Abiri, R., Zabarjadi, A.R., Ghobadi, M., & Kafashi, A. 2016. Investigation of drought tolerance of barley genotypes during germination stage using polyethylene glycol. Plant Research Journal, 29(2), 395-406. [In Persian]. doi. [20.1001.1.23832592.1395.29.2.15.9](https://doi.org/10.1001.1.23832592.1395.29.2.15.9).
- Akhawan Armaki, M., Azarnivand, H., Asareh, M.H., Jafari, A.A., & Tavili, A. 2013. Investigation of effect of drought stress on germination indices of four genotypes of *Bromus inermis*. Journal of Rangeland, 5(2), 191-196. [In Persian].
- Alivand, R., Tovakol Afshari, R., & Sharifzade, F. 2010. Germination response and estimation of seed deterioration of *Brassica napus* under various storage conditions. Iranian Journal of Field Crop Science, 44(1), 69-83. [In Persian]. Doi. [10.22059/ijfcs.2013.30485](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2013.30485).
- Attarzadeh, M., Balouchi, H., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A., & Rajaie, M. 2019. Response of germination and electrical conductivity of seeds produced by Echinacea

- purpurea's mother plants under the influence of biological fertilizers and drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 8(1), 185-200. (In Persian).
- Chaghakbodi, Z., Zabarjadi, A.R., & Kahrizi, D. 2012. Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus*) genotypes in laboratory and field conditions. Seed and Plant Improvement Journal, 28(1), 17-38. [In Persian]. doi.org/10.22077/escs.2016.248.
- Copland, L.D., & Mc Donald, M.B. 1995. Seed Science and Technology. Chapman and Hall, New York.
- Fakheri, B.A., Mousavi Nick, S.M., & Mohammadpour Vashvaei, R. 2017. Effect of drought stress induced by polyethylene glycol on germination and morphological properties of fennel and ajowan. Journal of Crop Science Research in Arid Regions, 1(1), 35 - 50. (In Persian).
- Gharoobi, B., Ghorbani, M., & Ghasemi-Nezhad, M. 2012. Effects of different levels of osmotic potential on germination percentage and germination rate of barley, corn and canola. Iranian Journal of Plant Physiology, 2(2), 413-417. doi. [10.30495/ijpp.2012.540775](https://doi.org/10.30495/ijpp.2012.540775).
- Gurvich, D. E., Pérez-Sánchez, R., Bauk, K., Jurad O, E., Ferrero, M. C., Funes, G., & Flores, J. 2017. Combined effect of water potential and temperature on seed germination and seedling development of cacti from a mesic Argentine ecosystem, Flora, 227, 18-2 Doi: 10.1016/j. flora. 2016.12.003.
- Geravandi, M., Farshadfar, E., & Kahrizi, D. 2010. Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. Seed and Plant Improvement Journal, 26(2), 252-233. [In Persian].
- Jafarnejad, A., Taheri, G., & Rahchamanie, A.A. 2009. Study of drought tolerance in four wheat genotypes at germination stage. Environmental Stresses in Agricultural Sciences, 2(1), 73-85. [In Persian]. doi.org/10.22077/escs.2009.54.
- Jajermi, V. 2015. Effect of water stress on germination indices in seven Iranian wheat varieties. Iranian Journal of Dynamic Agriculture, 12(1), 183-192. [In Persian].
- Kafi, M., Nezami, A., Hosseini, H., & Masoumi, A. 2005. Physiological effects of drought stress caused by polyethylene glycol on germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. Iranian Journal of Field Crop Research, 3(1), 69-80. [In Persian].
- Kamrani, M., Farzi, A., & Ebadi, A. 2015. Evaluation of grain yield performance and tolerance to drought stress in wheat genotypes using drought tolerance indices. Cereal Research, 5(3), 231 - 246.
- Kiani, S., Parmoon, G., Moosavi, S.A., & Siadat, S.A. 2020. Quantification of the seed germination of fennel ecotypes to osmotic stress using different s tatistical distributions. Iranian Journal of Seed Sciences and Technology, 9(3), 99-112. Doi. 10.22034/ijssst.2019.123683.1238. (In Persian)
- Li, H., Li, X., Zhang, D., Liu, H., & Guan, K. 2013. Effects of drought stress on the seed germination and early seeding growth of the endemic desert plant *Eremosparton songoricum* (Fabaceae). EXCLI Journal, 12, 89-101.
- Maguire, J.D. 1962. Seed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Science, 2, 176-177.
- Marjani, A., Farsi, M., & Rahimizadeh, M. 2006. Investigation of drought tolerance of ten pea genotypes in seedling stage using polyethylene glycol 6000. Journal of Agricultural Sciences, 12(1), 17-30. [In Persian].

- Matsuo, R.R. 1998. Durum wheat: its unique pasta-making properties. P 169-178, In: Wheat production, properties and quality. Bushuk, W. and Rasper, V.F. (eds.). Chapman and Hall.
- Muscolo, A., Sidari, M., Anastasi, U., Santoneoceto, C., & Maggio, A. 2013. Effect of PEG-induced drought stress on seed germination of four lentil genotypes. *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 354-363. doi. 10.1080/17429145.2013.835880.
- Nabizadehm E., Heydari Sharifabad, H., & Nourmohammadi, Gh. 2007. Effects of water stress in germination and vegetative growth stages, some pure lines of wheat under different water levels. *Journal of Agricultural Sciences*, 13(3), 661-678. [In Persian].
- Saeidi, M., Ahmadi, A., Poustini, K., & Jahansouz, M.R. 2007. Evaluation of germination traits of different genotypes of wheat in osmotic stress situation and their correlations with speed of emergence and drought tolerance in farm situation. [*Water and Soil Science \(Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources\)*](#), 11(1), 281-293. [In Persian].
- Ullah, A., Sadaf, S., Ullah, S., Alshaya, H., Okla M.K., Alwasel, Y.A., & Tariq, A. 2022. Using halothermal time model to describe Barley (*Hordeum vulgare* L.) seed germination response to water potential and temperature. *Life*, 12(2), 209-215. Do i:10.3390/life12020209.
- Whalley, W.R., Bengough, A.G., & Dexter, A.R. 1998. Water stress induced by PEG decreases the maximum growth pressure of the roots of pea seedlings. *Journal of Experimental Botany*, 49(327), 1689-1694. doi.org/10.1093/jxb/49.327.1689.
- Willenborg, C.J., Wildeman, J.C., Miller, A.K., Rosnagel, B.G., & Shirliffe, S.J. 2004. Oat germination characteristics differ among genotypes, seed size and osmotic potentials. *Crop Science*, 45(5), 2023-2029. doi.org/10.2135/cropsci2004.0722.
- Zarei, L., Farshadfar, E., Haghpour, R., Rajabi, R., & Mohammadi Sarab Badieh, M. 2007. Evaluation of some indirect traits and indices to identify drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Asian Journal of Plant Science*, 6(8), 1204-1210. doi: 10.3923/ajps.2007.1204.1210.
- Zebarjadi, A.R., Soheilikhah, ZH., Ghasempour, H.R., & Vaisipour, A. 2012. Effect of drought-induced stress by PEG6000 on physiological and morphological traits of Safflower (*Carthamus tinctorius*) seed germination in order to selection of drought tolerant genotypes. *Iranian Journal of Biology*, 25(2), 252-263. [In Persian].