

*Original article***Germination response of common wheat cultivars in Golestan Province to drought stress using the hydrotime model****Radman Karimi<sup>1</sup>, Samaan Rafiee<sup>2</sup>, Farshid Ghaderi-Far<sup>3\*</sup>, Mohsen Malek<sup>2</sup>**

1. Bachelor student of Agrotechnology, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. M.Sc. Graduate of Agrotechnology-Seed Science and Technology, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received 19 April 2025; Revised 8 June 2025; Accepted 16 June 2025

**Extended abstract****Introduction**

Wheat, as a cornerstone of Iran's food security and agricultural economy, plays a vital role in feeding the population through extensive cultivation in both rainfed and irrigated systems. However, the limited contribution of rainfed wheat production highlights major constraints, including drought stress and inefficient agricultural management in these regions. Golestan Province, with a diverse climate ranging from arid northern regions to humid southern areas, has experienced declining rainfall and reduced rainfed wheat yields, necessitating the identification of drought-resistant cultivars. This study employs the hydrotime model to analyze the germination behavior of common wheat cultivars in Golestan under drought stress, aiming to identify resilient genotypes and provide insights for optimizing cultivation patterns, improving water resource management, and developing climate-resilient cultivars. The findings of this study may help reduce agricultural vulnerability, enhance rainfed wheat productivity, and strengthen sustainable food security in Iran's arid regions.

**Materials and methods**

This study was conducted at the Seed Research Laboratory of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources using a factorial experiment arranged in a completely randomized design. The experimental factors included common wheat cultivars grown in Golestan Province at eleven levels (Aftab, Ehsan, Tirgan, Qaboos, Karim, Kalateh, Kouhdasht, Gonbad, Line 17, Morvarid, and Meraj) and drought stress at six levels (0, -0.3, -0.6, -0.9, -1.2, and -1.5 MPa). Germination tests were conducted in three replicates, with 25 seeds per replicate, placed in 15-cm-diameter Petri dishes and incubated at 20°C. Seeds were considered germinated when the radicle reached  $\geq 2$  mm in length. To measure coleoptile length, three replicates of 25 seeds per cultivar were placed in Petri dishes and incubated at 20°C. After seven days, ten seedlings were randomly selected from each Petri dish, and coleoptile length (from the tip to the seed attachment point) was measured. The hydrotime model was applied to analyze the germination responses of wheat cultivars to drought stress. The germination percentage data were fitted to the hydrotime model using the NLMIXED procedure in SAS 9.0. Mean comparisons were performed using the LSD test at the 5% significance level. Figures were prepared using Microsoft Excel 2016.

\* Corresponding author: Farshid Ghaderi-Far; E-Mail: [farshidghaderifar@yahoo.com](mailto:farshidghaderifar@yahoo.com)



### Results and discussion

Analysis of variance (ANOVA) revealed that germination percentage was significantly affected by drought stress, cultivar, and their interaction. No significant differences in germination were observed among wheat cultivars under mild moisture stress; however, under severe moisture stress ( $-1.5$  MPa), pronounced differences in germination were detected. In general, cultivars recommended for rainfed cultivation exhibited higher germination percentages under lower water potentials. Significant differences were also observed among wheat cultivars in mean coleoptile length and hydrotimic model parameters, including the hydrotimic coefficient ( $\theta H$ ), base water potential ( $\psi_{b50}$ ), and the standard deviation ( $\sigma_{\psi b}$ ). The results indicated a significant negative correlation between coleoptile length and base water potential, suggesting that this parameter could complement or even replace coleoptile length as a criterion for selecting and improving cultivars for rainfed regions. Overall, the findings highlight distinct responses of wheat cultivars to water stress during seed germination.

### Conclusion

The findings highlight the importance of simultaneously considering base water potential and coleoptile length when selecting drought-tolerant wheat cultivars during germination. Integrating these two criteria may improve seedling emergence and establishment under water-limited conditions without reliance on deep sowing, thereby avoiding growth delays and associated risks. Furthermore, the results indicate that recent breeding programs have led to a gradual reduction in coleoptile length and a shift toward less negative base water potential in modern wheat cultivars. This trend raises concerns about the declining resilience of modern wheat cultivars to early-season drought stress. Therefore, plant breeders should prioritize both coleoptile length and base water potential as complementary indices for developing cultivars adapted to early-season drought, thereby supporting sustainable wheat productivity in water-scarce environments.

**Keywords:** Base Water Potential, Coleoptile Length, Seedling vigor, Water Stress

## بررسی واکنش جوانه‌زنی ارقام گندم رایج استان گلستان به تنش خشکی با استفاده از مدل هیدروتایم

رادمان کریمی<sup>۱</sup>، سمان رفیعی<sup>۲</sup>، فرشید قادری فر<sup>۳\*</sup>، محسن ملک<sup>۱b</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی تولید و ژنتیک گیاهی، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی-علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.
۳. استاد تمام، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب پایه تنش خشکی طول کلئوپتیل قدرت گیاهچه	در این مطالعه به ارزیابی واکنش ارقام گندم تحت کشت رایج در استان گلستان به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی با کمک مدل هیدروتایم پرداخته شد. هدف از انجام این مطالعه علاوه بر شناسایی واکنش ارقام مختلف به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی، ارائه دید مناسب‌تر در برنامه‌ریزی‌های مرتبط با الگوی کشت به محققان و کشاورزان است. این مطالعه در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت آزمایش فاکتوریل انجام شد. فاکتورهای این آزمایش شامل ارقام رایج گندم در استان گلستان در یازده سطح (آفتاب، احسان، تیرگان، قابوس، کریم، کلاته، کوه‌دشت، گنبد، لاین ۱۷، مروارید و معراج) و تنش خشکی در شش سطح (صفر، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲ و ۱/۵ مگاپاسکال) بود. همچنین طول کلئوپتیل ارقام مختلف گندم اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش خشکی، رقم و برهم‌کنش آن‌ها بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار بود. همچنین اختلاف میانگین طول کلئوپتیل و پارامترهای مدل هیدروتایم شامل ضریب هیدروتایم (TH)، پتانسیل آب پایه ( $\psi_{b50}$ ) و انحراف معیار ( $\sigma_{\psi b}$ ) در ارقام مختلف گندم دارای اختلاف معنی‌دار بود. همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری بین طول کلئوپتیل و ضریب پتانسیل آب پایه مشاهده شد که می‌توان از این ضریب به‌عنوان یک صفت مکمل و یا حتی جایگزین پارامتر طول کلئوپتیل در انتخاب و اصلاح ارقام گندم جهت کشت در مناطق دیم استفاده کرد. به‌طور کلی نتایج این مطالعه بیانگر تفاوت ارقام گندم در پاسخ به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی بذرها بود. همچنین در نظر گرفتن اهمیت این موضوع از جانب اصلاح‌گران ارقام به‌منظور توجه به واکنش جوانه‌زنی بذرها به تنش خشکی حائز اهمیت است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۶	

### مقدمه

آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱، ۷/۵ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی کشور تحت کشت گندم است که ۲/۸ میلیون هکتار آن به کشت آبی و ۴/۷ میلیون هکتار آن نیز به کشت دیم اختصاص داده شده است و گندم در میان محصولات زراعی آبی کشور از نظر عملکرد تولیدی، با سرانه تولید حدود ۱۰/۴۷ میلیون تن دومین محصول زراعی آبی کشور است. همچنین گندم دیم با ۶/۱۴ میلیون تن رتبه اول کشور را در میان محصولات زراعی دیم به خود اختصاص داده

گندم را می‌توان مهم‌ترین گیاه در سبد غذایی انسان دانست که نقشی ارزشمند در اقتصاد و امنیت غذایی ایران و جهان دارد. نیاز روزافزون بشر به غذا به واسطه افزایش جمعیت و محدودیت‌های موجود در استفاده از منابع، نقش حیاتی این گیاه را دو چندان می‌کند (Daiyoulhigh et al., 2022). در ایران حدود نیمی از اراضی کشاورزی زیر کشت گندم هستند که بیانگر نقش اساسی این گیاه در تأمین غذای جامعه و همین‌طور نقش مهم آن در اقتصاد کشور است. طبق

تنش خشکی در ارقام مختلف با استفاده از مدل هیدروتایم پرداخته شده و ارقام مقاوم و حساس به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی مشخص شدند. نتایج محققان مختلف مبین این موضوع است که بین ارقام مختلف گیاهان زراعی از نظر میزان تحمل به تنش خشکی اختلاف وجود دارد که شناسایی این تفاوت‌ها می‌تواند به‌طور قابل توجهی در تصمیم‌گیری‌ها در زمینه مدیریت زراعی مزارع مؤثر واقع شوند (Soltani, 2013). همچنین مطالعه واکنش ارقام مختلف به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی در مطالعات اصلاح نباتات نیز کاربرد داشته و می‌توان از آن در برنامه‌های اصلاح ارقام جدید گیاهی در جهت برنامه‌ریزی و توسعه کشت این ارقام در مناطق مناسب بهره برد.

استان گلستان علاوه بر وسعت بالا، دارای اقلیم‌های متنوع و مختلفی است؛ به‌نحوی که مناطق شمالی استان دارای آب‌وهوای خشک و بارندگی‌های تجمعی کم و بخش‌های جنوبی استان دارای آب‌وهوایی معتدل و مرطوب همراه با بارندگی مناسب هستند. به نحوی که در سال آبی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در نواحی مرکزی و شمالی استان دامنه بارش‌ها بین ۸۰ تا ۵۳۰ میلی‌متر و در نواحی جنوبی و جنگلی استان میزان بارندگی‌ها بین ۸۰ تا ۹۴۰ میلی‌متر بود. طبق همین آمارنامه در سال آبی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ میانگین بارش در استان گلستان ۳۰۳/۲ میلی‌متر به ثبت رسید که نسبت به میانگین بلندمدت با ۴۷۵ میلی‌متر، کاهش ۳۶/۲ درصدی داشته است، که بیانگر خشکسالی‌های شدید تا بسیار شدید در این استان می‌باشد (Iran Meteorological Organization, 2023). در استان گلستان از مجموع ۴۸۳۷۳۷ هکتار اراضی تحت کشت گندم ۱۶۶۲۸۴ هکتار آن تحت کشت گندم آبی و ۱۱۷۴۵۴ هکتار آن تحت کشت گندم دیم است که از این اراضی در سال زراعی در مجموع ۷۰۹۰۸۵ تن گندم برداشت شده است که میانگین عملکرد گندم آبی ۲۹۹۷ کیلوگرم و این میزان برای گندم دیم ۱۷۹۴ کیلوگرم در هکتار عملکرد به ثبت رسیده است (Iranian Ministry of Agricultural Jihad, 2024).

استفاده از ارقام مقاوم به شرایط کم‌آبی و تغییر الگوی کشت، راهکارهایی مناسب جهت کاهش اثرات منفی ناشی از تغییر اقلیم است که توسط محققان توصیه شده است (Keshavarz, 2019; Tesfaye et al., 2018). پهنه‌بندی‌های آب‌وهوایی مختلف و خشکسالی‌های پی‌درپی استان گلستان، وجود ارقام مختلفی را می‌طلبد که سازگار به

است (Iranian Ministry of Agricultural Jihad, 2024). با وجود آنکه سطح زیر کشت گندم دیم نسبت به گندم آبی بیش از یک و نیم برابر است؛ اما با این حال تنها حدود ۳۷ درصد از گندم تولیدی کشور متعلق به اراضی دیم بوده که نشان‌دهنده وجود تنش خشکی و همچنین ضعف مدیریت زراعی در دیم‌زارها است (Heydari et al., 2022). تنش خشکی همواره یکی از معضلات اصلی بخش کشاورزی در دنیا بوده و همه‌ساله موجب کاهش بخش قابل توجهی از تولیدات گیاهی می‌گردد، که این موضوع در کشور ما در وضعیت نامناسب‌تری نسبت به میانگین جهانی قرار دارد (Shirazi et al., 2016; Majer et al., 2008). تنش خشکی ممکن است در تمام یا برخی مراحل رشد گیاه رخ دهد که یکی از مهم‌ترین این مراحل، جوانه‌زنی و سبز شدن می‌باشد (Bradford and Somasco., 1994; Dashtaki et al., 2020). جوانه‌زنی اولین و مهم‌ترین مرحله رشد گیاه است که استقرار و دیگر مراحل رشد و نمو گیاه را به‌شدت تحت‌تاثیر قرار می‌دهد. دستیابی به تولید و بهره‌وری مطلوب، به‌طور مستقیم وابسته به جوانه‌زنی بذرها و سبز شدن گیاهچه‌ها در ابتدای فصل رشد می‌باشد که این عامل نیز به نوبه‌خود تحت‌تاثیر عوامل محیطی و ژنتیکی قرار می‌گیرد (Windauer et al., 2007; Meyer and Pendleton., 2011). اگر خسارت ناشی از تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی به حداقل برسد و گیاهچه‌های اولیه دارای استقرار مناسبی باشند؛ می‌تواند منجر به افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش‌ها در سایر مراحل رشد و نمو گیاه زراعی شده و در نهایت حصول عملکرد مناسب را به دنبال داشته باشد (Shirazi et al., 2016; Springer, 2005; Hucl, 1993).

با توجه به اثرات منفی تنش خشکی در روند جوانه‌زنی و بهره‌وری محصولات زراعی، مطالعه رفتار جوانه‌زنی ارقام مختلف گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی بسیار حائز اهمیت بوده و می‌تواند به درک درست شرایط تنش و مکانیسم‌های دخیل در آن کمک کرده و به شناسایی روش‌های رفع عوامل محدودکننده منجر شود. در رابطه با اثر تنش خشکی بر جوانه‌زنی ارقام مختلف گیاهان زراعی مطالعات مختلفی تاکنون انجام شده است که به‌عنوان مثال می‌توان به موارد مشابه انجام شده بر روی گیاه کلزا (Adeli et al., 2020; Tatari et al., 2017) و کینوا (Hamidi et al., 2022) اشاره کرد که در این مطالعات به ارزیابی واکنش به

دامنه وسیعی از شرایط محیطی باشند. این امر ضرورت مطالعه روی واکنش ارقام مختلف گونه‌هایی زراعی از جمله گندم به شرایط و تنش‌های محیطی را قوت می‌بخشد. از این رو هدف از این مطالعه ارزیابی واکنش ارقام گندم رایج استان گلستان به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی با کمک مدل هیدروتایم است تا علاوه بر شناسایی واکنش ارقام مختلف، بتوان دید مناسب‌تری در برنامه‌ریزی‌های مرتبط با الگوی کشت در اختیار محققان و کشاورزان قرار دهد.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل اعمال تنش خشکی در شش سطح (صفر، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲ و ۱/۵- مگاپاسکال) بر روی یازده رقم رایج گندم در استان گلستان (آفتاب، احسان، تیرگان، قابوس، کریم، کلاته، کوه‌دشت، گنبد، لاین ۱۷، مروارید و معراج) بود. شجره و منشأ ارقام گندم در جدول ۱ ارائه شد.

جدول ۱. اطلاعات ارقام گندم استفاده شده در تحقیق.

Table 2. Information of wheat cultivars used in the research

رقم Cultivar	سال آزادسازی Releasing year	شجره Pedigree	منشأ Origin
کوه‌دشت Koohdasht	۱۳۷۹ 2000	BB/RON//CNO067/TOTA/3/JAR TR810200-29R	CIMMYT
لاین ۱۷ Line 17	-	JUP/ALD/ATT's"/VEE's"/3/...	CIMMYT
مروارید Marvarid	۱۳۸۸ 2009	Milan/Sha7	CIMMYT
کریم Karim	۱۳۹۰ 2011	T.AEST/SPRW'S"/CA8055/3/BACANORA86 (HAMAM-4) ICW92-0477-1AP-1AP-4AP-1AP-0AP	ICARDA
گنبد Gonbad	۱۳۹۰ 2011	ATRAK/WANG-SHUI-BAI	Iran
آفتاب Aftab	۱۳۹۴ 2015	THELIN/3/BABAX/LR42//BABAX/4/BABAX/LR42//BABAX	CIMMYT
قابوس Qaboos	۱۳۹۴ 2015	KAUZ/PASTOR//BAV92/RAYON CMSS00M02400S-030M-030WGY-030M-9M-0Y	CIMMYT
احسان Ehsan	۱۳۹۵ 2016	SABUF/7/ALTAR 84/AE.SQUARROSA (224)//YACO/6/CROC_1/AE.SQUARROSA	CIMMYT
تیرگان Tirgan	۱۳۹۶ 2017	(205)/5/BR12*3/4/IAS55*4/CI14123/3/IAS55*4/EG,AUS//IAS55*4/ALD	CIMMYT
کلاته Kalateh	۱۳۹۷ 2018	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR	CIMMYT
معراج Miraj	۱۳۹۷ 2018	MILAN/S87230//BABAX	CIMMYT

برای ایجاد سطوح مختلف تنش خشکی از پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ استفاده شد (Michel and Kaufmann, 1973) که برای ایجاد تنش خشکی ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲ و ۱/۵- مگاپاسکال به ترتیب ۱۴۳/۲، ۲۱۳/۶، ۲۶۸/۰، ۳۱۳/۹ و ۳۵۴/۴ گرم پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ در یک لیتر آب مقطر حل شد. آزمون جوانه‌زنی در سه تکرار ۲۵ عددی بذر در پتری‌دیش‌هایی به قطر ۱۵ سانتی‌متر و بستر کاغذ صافی واتمن شماره ۲ در انکوباتور با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. به هر ظرف پتری، مقدار مساوی ۱۰ میلی‌لیتر محلول پلی‌اتیلن‌گلیکول در پتانسیل‌های مختلف اضافه شد و از همین مقدار آب مقطر برای تیمار شاهد (پتانسیل صفر) استفاده شد. با شروع جوانه‌زنی، بذره‌های جوانه‌زده شمارش شدند. شمارش بذره‌های جوانه‌زده بسته به سرعت جوانه‌زنی و پتانسیل آب هر تیمار، در روزهای اولیه بعد از جوانه‌زنی، در دو الی سه مرحله صورت گرفت و با کاهش سرعت جوانه‌زنی، شمارش‌ها به یک مرحله در روز کاهش یافت. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به طول ۲ میلی‌متر یا بیشتر در نظر گرفته شد (Ghaderi-Far et al., 2009; Soltani et al., 2001). در هر مرحله شمارش، بذره‌های

است که درصد جوانه‌زنی بذره‌های گندم در ارقام مختلف متفاوت بوده و همچنین رفتار جوانه‌زنی بذرها تحت تأثیر پتانسیل آب قرار می‌گیرد. در پتانسیل‌های مختلف آب از صفر تا ۱/۲- مگاپاسکال اختلاف معنی‌داری بین درصد جوانه‌زنی ارقام مختلف گندم مشاهده نشد؛ اما در پتانسیل ۱/۵- مگاپاسکال اختلاف درصد جوانه‌زنی بین ارقام گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و ارقام واکنش‌های متفاوتی به قرارگیری در شرایط تنش خشکی شدید (پتانسیل ۱/۵- مگاپاسکال) نشان دادند (جدول ۳). درصد جوانه‌زنی ارقام مختلف گندم از پتانسیل صفر (شاهد) تا پتانسیل ۱/۲- به طور میانگین بالای ۹۰ درصد بود و با افزایش پتانسیل به ۱/۵- مگاپاسکال اختلاف درصد جوانه‌زنی بین ارقام مختلف گندم افزایش یافته و به بیان دیگر اختلاف درصد جوانه‌زنی بین ارقام گندم در این تیمار اعمال تنش خشکی مشهودتر بود (جدول ۳). کم‌ترین درصد کاهش درصد جوانه‌زنی در پتانسیل ۱/۵- نسبت به شاهد (پتانسیل آب صفر) در رقم لاین ۱۷ (۰/۰۴ درصد کاهش) و بیشترین درصد کاهش جوانه‌زنی در رقم کلاته (۳۳/۳ درصد کاهش) مشاهده شد. ارقام گنبد، لاین ۱۷ و مروارید که جزء ارقام توصیه شده برای مناطق خشک و نیمه خشک استان گلستان هستند؛ در تمام پتانسیل‌های آب، جوانه‌زنی بیش‌تر از ۹۰ درصد داشتند. ارقام آبی معراج، تیرگان و کلاته نیز پایین‌ترین درصد جوانه‌زنی در پتانسیل ۱/۵- را داشتند. در پتانسیل ۱/۵- مگاپاسکال که بیشترین سطح از تنش خشکی در این مطالعه بود؛ بیشترین و کمترین درصد جوانه‌زنی به ترتیب مربوط به رقم گنبد (۹۷/۲۷٪) و رقم معراج (۶۳/۲۳٪) بود (جدول ۳). عدم اختلاف در درصد جوانه‌زنی بین ارقام مختلف گندم مورد مطالعه در پتانسیل‌های مثبت‌تر از ۱/۵- بیانگر این موضوع است که پتانسیل‌های مثبت‌تر از این مقدار توانایی کمتری در بیان اثر تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی ارقام گندم را دارند و برای بررسی این اثرات بهتر است بررسی این موضوع حداقل در پتانسیل ۱/۲- و منفی‌تر از آن انجام شود. به بیان دیگر پتانسیل‌های مثبت‌تر از ۱/۲- مگاپاسکال عموماً توانایی بیان اختلافات ناشی از اثر تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی را در آزمایش‌های مربوط به بذر گندم ندارند. البته قابل ذکر است که توانایی تحمل به انواع تنش‌ها از جمله تنش خشکی در مراحل مختلف زندگی گیاه یکسان نیست (Chegni et al., 2015).

جوانه‌زده از پتری‌دیش‌ها خارج شدند و شمارش تا زمانی ادامه یافت که برای سه روز متوالی جوانه‌زنی مشاهده نشود. به‌منظور بررسی واکنش جوانه‌زنی (داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی) ارقام مختلف گندم به تنش خشکی از مدل هیدروتایم استفاده شد (Alimaghani and Ghaderi Far, 2014; Mesgaran et al., 2013):

$$Probit(g) = \frac{\left\{ \psi - \frac{\theta_H}{t_g} \right\} - \psi_{b(50)}}{\sigma_{\psi b}} \quad [1]$$

در این رابطه،  $g$  درصد جوانه‌زنی تجمعی،  $\psi$  پتانسیل آب برحسب مگاپاسکال،  $\theta_H$  ضریب هیدروتایم برحسب مگاپاسکال ساعت،  $t_g$  زمان مورد نیاز برای جوانه‌زنی  $g$  درصد از بذرها (بر حسب ساعت)،  $\psi_{b(50)}$  پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی (برحسب مگاپاسکال) و  $\sigma_{\psi b}$  انحراف معیار توزیع پتانسیل پایه برای تیمارهای مختلف در جمعیت بذر است.

در این تحقیق طول کلئوپتیل ارقام مورد مطالعه گندم نیز اندازه‌گیری شد. برای این کار ۲۵ بذر از هر رقم شمارش و با سه تکرار در پتری‌دیش‌های ۱۵ سانتی‌متری روی کاغذ صافی قرار گرفتند. پس از اضافه کردن آب مقطر، پتری‌دیش‌ها به مدت ۷ روز در دمای ۲۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار گرفتند. در انتهای آزمایش، از هر پتری‌دیش ده گیاهچه به‌طور تصادفی انتخاب و از نوک کلئوپتیل تا محل اتصال آن به بذر به عنوان طول کلئوپیل اندازه‌گیری شد (Mohan et al., 2013). همچنین بنیه گیاهچه نیز بر اساس رابطه زیر محاسبه شد (Ghaderi-Far and Gorzin, 2019):

$$SV = GP \times L \quad [2]$$

که در این رابطه،  $SV$  بنیه گیاهچه،  $GP$  درصد جوانه‌زنی و  $L$  طول گیاهچه هستند.

کلیه تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS 9.0 انجام شد. برازش مدل هیدروتایم به داده‌های درصد جوانه‌زنی با کمک رویه NLMIXED انجام شد. همچنین مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت (Soltani, 2007). شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2016 رسم شدند.

## نتایج و بحث

تجزیه واریانس درصد جوانه‌زنی نشان داد اثر تنش خشکی، رقم و برهم‌کنش آن‌ها بر درصد جوانه‌زنی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌عبارت‌دیگر این موضوع مبین آن

جدول ۲. تجزیه واریانس درصد جوانه‌زنی بذر ارقام گندم در پاسخ به تنش خشکی.

Table 2. Analysis of variance of seed germination percentage in wheat cultivars under drought stress.

منابع تغییر Sources of Variation	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage
تنش خشکی Drought stress	5	45.59**
رقم Cultivar	10	6.45**
رقم × تنش خشکی Drought stress×Cultivar	50	2.09**

\*\* بیانگر احتمال معنی‌داری در سطح یک درصد است.

\*\* indicates significance at the 1% level.

درصد جوانه‌زنی در بین ارقام توصیه شده برای زراعت‌های آبی و دیم در این استان دارای الگوی یکنواختی نبوده؛ اما نکته قابل توجه در این خصوص این است که به‌طور کلی بیشترین درصد جوانه‌زنی در پتانسیل‌های منفی متعلق به ارقام توصیه شده برای زراعت‌های دیم از جمله گنبد، مروارید و لاین ۱۷ و کمترین درصد جوانه‌زنی متعلق به ارقام توصیه شده برای زراعت‌های آبی از جمله معراج، کلاته و تیرگان است.

بنابراین، این گونه می‌توان استدلال کرد که ارقام توصیه شده برای زراعت دیم دارای تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی نیز هستند که این امر می‌تواند بیش‌ازپیش مورد توجه اصلاحگران واقع شود. البته این الگو دارای استثنائاتی مانند رقم احسان نیز هست. رقم احسان توصیه شده برای زراعت آبی بوده و باین حال در پتانسیل ۱/۵- مگاپاسکال با جوانه‌زنی ۸۱/۳۳ درصدی، جوانه‌زنی بهتری نسبت به برخی ارقام دیم نشان داد. طبق این نتایج می‌توان احتمال داد در سطح مزرعه در صورت بروز تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی در بین ارقام توصیه شده برای زراعت آبی، رقم احسان می‌تواند مقاومت بیشتری نسبت به سایر ارقام در شرایط نامساعد اول فصل از خود نشان دهد.

نتایج نشان داد که بین ارقام گندم از لحاظ بنیه گیاهیچه اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). بیشترین بنیه گیاهیچه مربوط به لاین ۱۷ و مروارید بود و کمترین مقدار مربوط به گنبد و کلاته مشاهده شد. در ادامه نتایج نشان داد که ارقام مورد بررسی در این مطالعه از نظر طول کلئوپتیل نیز دارای اختلاف معنی‌داری بودند (جدول ۴).

جدول ۳. مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی ارقام گندم در پاسخ به سطوح مختلف تنش خشکی.

Table 3. Mean comparison of germination percentage in wheat cultivars under different drought stress levels.

Cultivar رقم	Water potential (MPa) پتانسیل آب (MPa)					
	0	-0.3	-0.6	-0.9	-1.2	-1.5
Koohdasht کوهدشت	96.0±3.9	96.0±3.9	98.0±4.6	97.3±2.2	99.9±0.0	85.3±10.1 <sup>abc</sup>
Line 17 لاین ۱۷	94.7±2.3	97.3±2.8	98.6±2.2	98.6±2.7	98.6±2.2	94.6±6.1 <sup>ab</sup>
Marvarid مروارید	97.3±2.2	97.3±2.2	97.3±2.9	93.3±11.5	99.9±0.0	92.0±4.0 <sup>ab</sup>
Karim کریم	98.6±2.2	99.9±0.0	98.6±2.2	98.6±2.2	94.7±2.3	78.7±8.3 <sup>bcd</sup>
Gonbad گنبد	98.6±2.7	99.9±0.0	98.6±2.5	97.3±4.6	92.0±10.5	97.3±4.6 <sup>a</sup>
Aftab آفتاب	94.7±2.2	93.3±4.6	93.3±2.3	97.3±2.2	93.3±6.1	77.3±16.2 <sup>bcd</sup>
Qaboos قابوس	97.3±2.4	95.9±6.8	97.3±2.2	98.6±2.2	96.0±3.9	73.3±6.1 <sup>cd</sup>
Ehsan احسان	96.0±0.0	97.3±2.2	96.0±3.9	94.7±2.3	97.3±4.3	81.3±2.3 <sup>abc</sup>
Tirgan تیرگان	97.3±3.0	97.3±3.0	97.3±2.2	97.3±2.2	93.3±6.1	70.7±20.1 <sup>cd</sup>
Kalateh کلاته	96.0±3.1	93.3±2.3	97.3±4.6	88.0±13.9	92.0±4.0	62.7±12.2 <sup>d</sup>
Miraj معراج	89.3±6.1	96.0±3.11	92.0±0.0	92.0±6.9	89.3±2.3	61.3±9.2 <sup>d</sup>
Pr>F	2.1 <sup>ns</sup>	1.22 <sup>ns</sup>	1.65 <sup>ns</sup>	0.89 <sup>ns</sup>	1.61 <sup>ns</sup>	4.09 <sup>**</sup>

\*\* بیانگر معنی‌داری در سطح یک درصد و <sup>ns</sup> بیانگر عدم احتمال معنی‌داری است. حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است.

\*\* and <sup>ns</sup> indicate significance at the 1%, and non-significant levels, respectively. Similar letters in each column indicate no significant difference between the means.

جدول ۴. مقایسه میانگین طول کلئوپتیل و پارامترهای مدل هیدروتایم برای ارقام مختلف گندم.

Table 4. Mean comparison of coleoptile length and hydrotime model parameters for wheat cultivars.

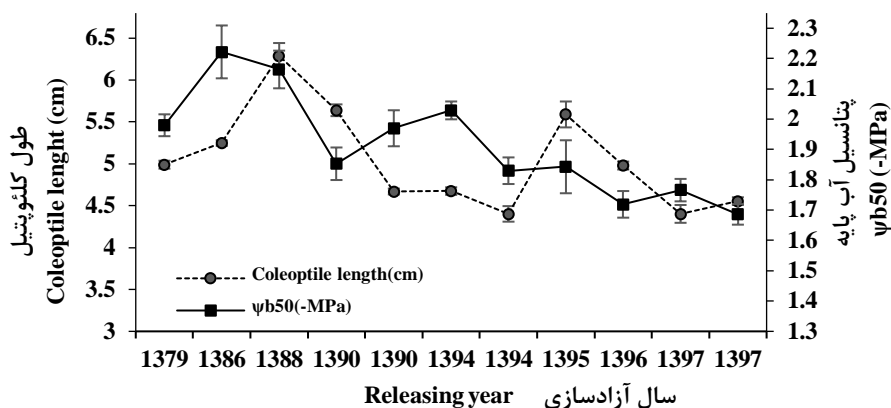
Cultivar	رقم	قدرت گیاهچه Seedling vigor	طول کلئوپتیل Coleoptile Length (cm)	ضریب هیدروتایم Hydrotime coefficient $\theta_H$ (MPa.h)	پتانسیل آب پایه Base water potential $\psi_{b50}$ (MPa)	سیگما Sigma $\sigma_{wb}$ (MPa)
Koohdasht	کوهدشت	1845.2±55.8 <sup>cd</sup>	4.99±0.05 <sup>d</sup>	60.04±1.31 <sup>bcd</sup>	-1.98±0.036 <sup>cd</sup>	0.371±0.033 <sup>abc</sup>
Line 17	لاین ۱۷	2123.7±37.5 <sup>ab</sup>	5.25±0.11 <sup>c</sup>	64.06±3.57 <sup>d</sup>	-2.22±0.087 <sup>a</sup>	0.379±0.028 <sup>ab</sup>
Marvarid	مروارید	2184.5±24.18 <sup>a</sup>	6.29±0.15 <sup>a</sup>	63.99±1.46 <sup>cd</sup>	-2.16±0.062 <sup>ab</sup>	0.360±0.037 <sup>abcd</sup>
Karim	کریم	2110.1±53.4 <sup>ab</sup>	5.64±0.07 <sup>b</sup>	57.02±2.95 <sup>abcd</sup>	-1.85±0.054 <sup>de</sup>	0.276±0.017 <sup>d</sup>
Gonbad	گنبد	1734.6±39.7 <sup>d</sup>	4.67±0.03 <sup>e</sup>	52.02±3.73 <sup>ab</sup>	-1.97±0.059 <sup>cd</sup>	0.325±0.037 <sup>bcd</sup>
Aftab	آفتاب	1988.5±69.3 <sup>bc</sup>	4.66±0.04 <sup>e</sup>	57.17±5.18 <sup>abcd</sup>	-1.84±0.087 <sup>def</sup>	0.338±0.035 <sup>bcd</sup>
Qaboos	قابوس	2079.7±14.2 <sup>ab</sup>	4.40±0.09 <sup>f</sup>	55.64±2.03 <sup>abc</sup>	-1.83±0.044 <sup>def</sup>	0.384±0.025 <sup>ab</sup>
Ehsan	احسان	2077.7±52.7 <sup>ab</sup>	5.59±0.15 <sup>b</sup>	56.76±1.77 <sup>abcd</sup>	-2.03±0.030 <sup>bc</sup>	0.434±0.017 <sup>a</sup>
Tirgan	تیرگان	2118.2±9.9 <sup>ab</sup>	4.98±0.04 <sup>d</sup>	54.98±3.07 <sup>ab</sup>	-1.72±0.044 <sup>ef</sup>	0.288±0.016 <sup>cd</sup>
Kalateh	کلاته	1820.1±67.8 <sup>d</sup>	4.40±0.11 <sup>f</sup>	49.88±2.58 <sup>a</sup>	-1.77±0.037 <sup>ef</sup>	0.340±0.038 <sup>bcd</sup>
Miraj	معراج	1853.4±27.9 <sup>dc</sup>	4.55±0.04 <sup>ef</sup>	51.29±0.30 <sup>a</sup>	-1.69±0.034 <sup>f</sup>	0.401±0.021 <sup>ab</sup>
Pr>F		0.852**	47.57**	2.71*	9.87**	2.64*

\*\* و \* به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد هستند. حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است. \*\* and \* indicate significance at the 1% and 5% levels, respectively. Similar letters in each column indicate no significant difference between the means.

محققان بیان داشتند وجود کلئوپتیل طولی‌تر به گیاهچه کمک می‌کند تا در هنگام کشت در عمق بیشتر راحت‌تر به سطح خاک رسیده و رشد کند. در حقیقت کلئوپتیل می‌تواند به نحوی موجب ظهور برگ‌های اولیه در سطح خاک شوند؛ چراکه خارج شدن برگ‌های اولیه در زیر سطح خاک ممکن است موجب آسیب به برگ‌های اولیه شده و مانع ادامه فرایند رشد گیاهچه شود.

رامشینی و همکاران (Ramshini et al., 2016) طی مطالعه‌ای صفات جوانه‌زنی گندم را طی تغییرات ژنتیکی در طی ۸۴ سال اصلاح در ایران بررسی کردند و بیان داشتند که در طی اصلاح ارقام گندم، طول کلئوپتیل به طور معنی‌داری کاهش یافته است و ارقام جدید با میانگین طول کلئوپتیل ۳/۳ سانتی‌متر، کلئوپتیل کوتاه‌تری نسبت به ارقام قدیمی با میانگین طول کلئوپتیل ۴/۲ سانتی‌متر دارند. در مطالعه حاضر نیز ارقام گندم استان گلستان باتوجه‌به سال معرفی، دارای الگوی کاهشی در خصوص این پارامتر هستند. به‌عبارت‌دیگر در طی ۲۰ سال اصلاح ارقام گندم طول کلئوپتیل کاهش پیدا کرده است (شکل ۱). روند کاهشی طول کلئوپتیل در طی سال‌های اخیر که احتمالاً بر اثر کارهای اصلاحی است در این پژوهش نیز مشاهده شد.

کوتاه‌ترین طول کلئوپتیل متعلق به رقم قابوس و لاین ۱۷ (۴/۴۰ سانتی‌متر) و بلندترین کلئوپتیل متعلق به رقم مروارید (۶/۲۹ سانتی‌متر) بود. طول کلئوپتیل نشان‌دهنده توانایی سبز شدن از عمق پایین‌تر می‌باشد. در واقع ارقامی که طول کلئوپتیل بیشتری دارند به‌طور معمول توانایی سبز شدن از عمق پایین‌تر را دارند (Schillinger et al., 1998). برخی مطالعات طول کلئوپتیل را در ارقام گندم در مناطق مختلف دنیا اندازه‌گیری کردند (Singh et al., 2013; Mohan et al., 2013; Ramshini et al., 2016; Farhad et al., 2014). سینگ و همکاران (Singh et al., 2013) دامنه طول کلئوپتیل پنج رقم گندم مورد مطالعه خود را از ۵/۵ تا ۹/۴ سانتی‌متر اعلام کردند. فرهاد و همکاران (Farhad et al., 2014) در مطالعه‌ای که بر روی ۳۰ رقم گندم در بنگلادش انجام شد، دامنه طول کلئوپتیل ارقام گندم مورد بررسی خود را از ۵/۵ تا ۱۰/۹ سانتی‌متر اعلام کردند. در یک مطالعه جامع انجام شده توسط موهان و همکاران (Mohan et al., 2013) در آمریکا، طول کلئوپتیل ۶۶۲ رقم گندم اندازه‌گیری شد. نامبردگان بیان داشتند که دامنه طول کلئوپتیل ارقام گندم از ۳/۴ تا ۱۱/۴ سانتی‌متر متغیر و متوسط طول کلئوپتیل ۶/۲۴ سانتی‌متر بود. به‌طورکلی



شکل ۱. تغییرات طول کلئوپتیل و پتانسیل آب پایه ارقام گندم استان گلستان بر اساس سال معرفی و آزادسازی.  
**Fig. 1. Changes in coleoptile length and base water potential of wheat cultivars of Golestan province based on their year of introduction and release.**

همکاران (Brill et al., 2012) بیان داشتند که افزایش عمق کشت از ۳/۵ سانتی متر به ۷ و ۱۰/۵ سانتی متر به ترتیب سبب کاهش ۱۷ و ۶۱ درصدی استقرار گیاهچه گندم می شود. در مطالعه‌ای دیگر سینگ و همکاران (Singh et al., 2013) نیز بیان داشتند که شاخص سطح برگ و تولید ماده خشک با افزایش عمق کاشت از ۲ سانتی متر کاهش می یابد. یاگمور و کایدان (Yagmur and Kaydan, 2009) بیان داشتند که ارقام گندم کشت شده در عمق ۵ سانتی متر به ترتیب ۲۲/۳ و ۶۲/۵ درصد عملکرد بیشتری نسبت ارقام کشت شده در عمق ۷ و ۹ سانتی متر داشتند. مهدی و همکاران (Mahdi et al., 1988) عمق کاشت ۶ سانتی متر را مناسب ترین عمق برای کشت گندم در شرایط دیم اعلام کردند. جمالی (Jamali, 2013) نیز بیان داشت که درصد سبز شدن در عمق ۵ سانتی متر حدود ۹۰-۸۰ درصد بود و با افزایش عمق کشت به ۱۲ سانتی متر درصد سبز شدن کاهش یافته و به حدود ۱۰-۲۰ درصد رسید. به طور کلی با توجه به مطالعات انجام شده آستانه کاهش سبز شدن ارقام گندم در پاسخ به عمق کشت، ۴ تا ۶ سانتی متر می باشد. در واقع میانگین طول کلئوپتیل نیز در اکثر مطالعات بین ۴ الی ۶ سانتی متر بود که مطابق با آستانه کاهش سبز شدن می باشد. نکته جالب اینکه در کلیه مطالعات سرعت سبز شدن با افزایش عمق کاشت به تأخیر می افتد. تأخیر در سبز شدن منجر به کاهش استقرار گیاهچه و قرارگیری بیشتر گیاهچه در خاک و در معرض آفات و بیماری ها می گردد (Zhang and Wang, 2012). از این رو شاید بتوان گفت که صفت طول کلئوپتیل همیشه صفت مناسبی برای کاشت بذرهای گندم در اعماق پایین در مناطق دیم نمی باشد. در مطالعه‌ای که توسط موهان و

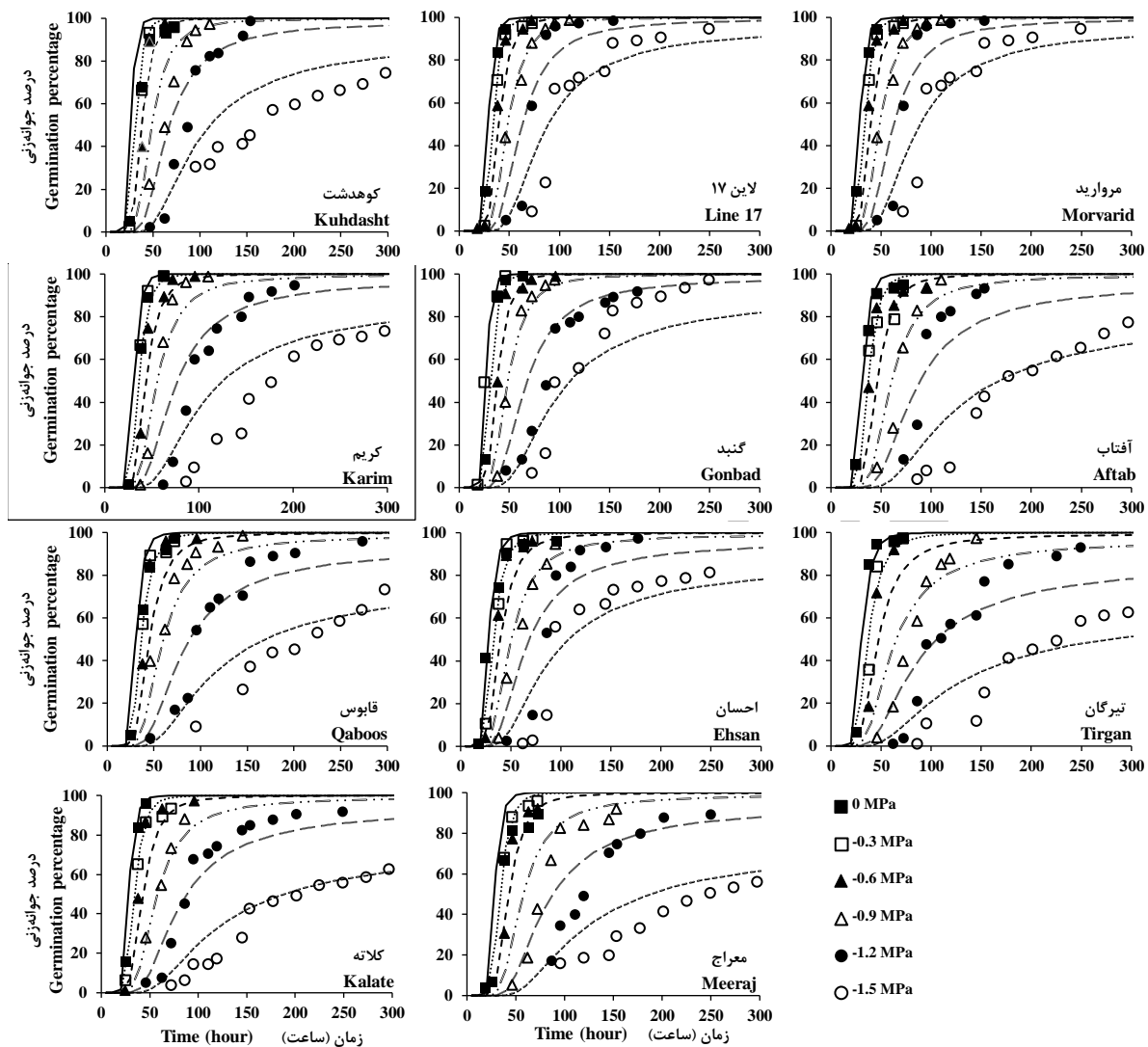
به طور کلی اصلاح گران در مناطق خشک و نیمه خشک به دنبال ارقامی هستند که طول کلئوپتیل بیشتری داشته باشند، که در صورت کشت عمیق توسط کشاورزان، قادر به سبز شدن باشند. مطالعات حاکی از آن است که بین طول کلئوپتیل و ظهور گیاهچه در کشت های عمیق رابطه‌ی مستقیمی وجود دارد (Matsui et al., 2002; Schillinger et al., 1998). کشت عمیق یکی از راهکارهای مقابله با تنش خشکی در مرحله جوانه زنی و سبز شدن گندم است. کشت عمیق به کشاورزان این امکان را می دهد که از رطوبت خاک که در زیر لایه سطحی خشک خاک است، استفاده کنند (Donald and Puckridge, 1975). کلئوپتیل پوشش خارجی اولین برگ در حال نمو گیاه است که از اولین برگ گیاه محافظت کرده تا مسیر حرکت این برگ را از عمق خاک تا سطح خاک برای سبز شدن هموارتر کند. اگر طول کلئوپتیل کوتاه تر از عمق کاشت باشد، اولین برگ باید در خاک نفوذ کند و این امر گیاهچه را در برابر پاتوژن ها بیماری ها و سله سطح خاک آسیب پذیرتر می کند (Zhang and Wang, 2012). اما با این وجود مطالعاتی نشان می دهد که عمق کاشت تأثیر معنی داری بر سبز شدن، بنیه گیاهچه و عملکرد محصول دارد (Roy et al., 2011). با افزایش عمق کشت، درصد و سرعت سبز شدن کاهش می یابد، که این امر منجر به تأخیر در سبز شدن و همچنین کاهش تراکم مطلوب بوته در واحد سطح می گردد. کشت عمیق سبب تأخیر در ظهور گیاهچه های گندم می شود و این تأخیر در سبز شدن منجر به کاهش زیست توده نهایی، کاهش تعداد سنبله ها و در نتیجه کاهش عملکرد دانه گندم می شود (Gan et al., 1992; Jamali, 2013; Mahdi et al., 1998). بریل و

همکاران (Mohan et al., 2013) انجام شد مشاهده گردید که طول کلئوپتیل طویل‌تر از ۹ سانتی‌متر هیچ مزیتی بر ظهور گیاهچه در کشت عمیق نداشته و تنها ۲۸ درصد از تغییرات مربوط به ظهور گیاهچه مربوط به طول کلئوپتیل است. هرچند که نمی‌توان ظهور گیاهچه گندم را به‌طور کامل با طول کلئوپتیل مرتبط دانست، چرا که این صفات تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و عوامل محیطی شامل بافت خاک، محتوای آب در دسترس بذر، دما، نفوذ نور و بقایای گیاهی هستند (Botwright et al., 2001; Allan et al., 1962). بنابراین طول کلئوپتیل بیشتر با تمام مزیت‌هایی که دارد در مواردی نیز می‌تواند موجب کاهش راندمان محصول از طریق القاء تأخیر در زمان سبز شدن و استقرار گیاهچه‌ها در سطح خاک و همچنین افزایش خطر آلودگی به پاتوژن‌ها در گیاهچه‌های جوان گردد. از این‌رو باید معیاری مناسب‌تر و تکمیل‌کننده‌ای در انتخاب ارقام به‌منظور مقابله با تنش خشکی اول فصل در نظر گرفت.

یکی از صفات مهم در افزایش سبز شدن ارقام گندم در مناطق دیم، تحمل به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن می‌باشد. برخی محققان برای بررسی تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی از مدل هیدروتایم استفاده کردند (Alimaghani and Ghaderi-Far., 2014; Bradford and Ghaderi-Far., 2014; and Somasco., 1994; Tatari et al., 2020). این مدل دارای سه ضریب، ضریب هیدروتایم ( $\theta_H$ )، پتانسیل آب پایه ( $\psi_{b50}$ ) و انحراف معیار ( $\sigma_{\psi b}$ ) است که به ترتیب بیانگر سرعت جوانه‌زنی، تحمل به تنش خشکی و یکنواختی جوانه‌زنی می‌باشد. هر چه مقدار عددی ضریب هیدروتایم و انحراف معیار پایین‌تر باشد، به معنی بالاتر بودن سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی بذرها است. هر چه مقدار عددی پتانسیل آب پایه منفی‌تر باشد، محموله بذری تحمل بالاتری به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی دارا است (Bradford and Still, 2004). نتایج برازش مدل هیدروتایم به داده‌های جوانه‌زنی ارقام مختلف گندم در پتانسیل‌های مختلف آب (سطوح تنش خشکی) در شکل (۲) ارائه شده است. ضریب هیدروتایم در ارقام مختلف دارای اختلاف معنی‌دار بوده که این موضوع نشان‌دهنده سرعت جوانه‌زنی مختلف در ارقام گندم است (جدول ۴).

بیشترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به ارقام معراج و کلاته و کمترین سرعت جوانه‌زنی نیز مربوط به ارقام لاین ۱۷ و مروارید بود (جدول ۴). بیشترین یکنواختی جوانه‌زنی نیز

مربوط به ارقام کریم و تیرگان و کمترین یکنواختی جوانه‌زنی نیز مربوط به رقم احسان بود (جدول ۴). به‌طور کلی و با در نظر گرفتن روند کلی داده‌ها و چشم‌پوشی از استثنائات؛ از نتایج دو ضریب هیدروتایم و انحراف معیار می‌توان استنباط کرد که سرعت جوانه‌زنی در ارقام توصیه شده برای زراعت آبی بیشتر از ارقام توصیه شده برای زراعت دیم بوده و از نظر یکنواختی جوانه‌زنی عکس این حالت وجود داشته و ارقام در زراعت دیم دارای یکنواختی جوانه‌زنی بالاتری هستند. مفهوم بیولوژیک این امر را می‌توان به‌خوبی در تفاوت ارقام توصیه شده برای زراعت‌های آبی و دیم توضیح داد. ارقام توصیه شده در زراعت آبی معمولاً به‌منظور کشت در مناطق با حاصلخیزی بیشتر و شرایط بهتر اقلیم (اقلیم‌های دارای بارندگی یا امکان آبیاری) اصلاح شده و از همین رو دارای پتانسیل عملکرد بالاتری هستند؛ بنابراین بیشتر بودن سرعت جوانه‌زنی بذرهای این ارقام به دلیل بیشتر بودن قدرت بذرها به دلیل وجود اندوخته غذایی کامل‌تر و بیشتر (به دلیل شرایط رشد گیاه مادری) هستند. همچنین چون این بذرها معمولاً شرایط مناسبی را در دوره جوانه‌زنی تجربه می‌کنند مفهوم یکنواختی جوانه‌زنی اهمیت چندانی ندارد. از طرفی سبز شدن گیاهچه در زراعت دیم بیشتر وابسته به یکنواختی جوانه‌زنی بذر بوده تا سرعت جوانه‌زنی. چراکه در شرایط دیم کشت اغلب به صورت خشکه کاری یا به‌صورت هیرم کاری وابسته به بارندگی انجام می‌گیرد و آبیاری صورت نمی‌گیرد؛ بنابراین بذر ارقام دیم باید به‌نحوی تکامل یافته و اصلاح شده باشند که با محیا بودن حداقل رطوبت به‌طور یکنواخت و در دوره کوتاهی جوانه بزنند چراکه ممکن است آب کافی برای جوانه‌زنی تنها در مدت‌زمان کوتاهی در دسترس باشد. ارقام گندم در این مطالعه از نظر پتانسیل آب پایه نیز دارای اختلاف معنی‌دار بودند (جدول ۴). ارقام لاین ۱۷ و تیرگان به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین پتانسیل آب پایه بودند. این موضوع نیز از حیث مقایسه دارای الگوی بیولوژیک بوده که نشان می‌دهد ارقام استفاده شده در زراعت دیم دارای مقاومت بیشتری نسبت به ارقام استفاده شده در زراعت آبی درمقابل تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی بذرها هستند. نکته قابل توجه این است که طی سال‌های اخیر علاوه بر کاهش خطی طول کلئوپتیل، پتانسیل آب پایه نیز روند نزولی داشته (شکل ۱) و ارقام جدیدتر نسبت به ارقام قدیمی پتانسیل آب پایه مثبت‌تری دارند.



شکل ۲. برازش مدل هیدروتایم به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی ارقام گندم در پاسخ به تنش خشکی.

Fig. 2. Fitting the hydrotime model to cumulative germination percentage data of wheat cultivars in response to drought stress.

که صفت تحمل به تنش خشکی ( $\Psi_{b50}$ ) نسبت به طول کلئوپتیل صفت مناسبتری در مناطقی خشک و نیمه خشک باشد؛ زیرا اگر رقم دارای پتانسیل آب پایینی باشد، قادر به سبز شدن از اعماق سطحی‌تر است. در این رابطه، سینگ و همکاران (Singh et al., 2013) گزارش کردند که ارقامی که طول کلئوپتیل بیشتری دارند دارای تحمل به خشکی بیشتر در مرحله جوانه‌زنی هستند. بین ارقام مختلف اختلاف معنی‌داری در جوانه‌زنی در پتانسیل‌های مختلف وجود دارد و ارقام گندمی که در کشت‌های عمیق از جوانه‌زنی و سبز شدن مطلوبی برخوردارند می‌توانند در پتانسیل‌های منفی آب جوانه‌زنی بهتری نسبت به ارقام دیگر داشته باشند. علاوه بر طول کلئوپتیل توانایی بذر برای جوانه‌زنی در پتانسیل‌های پایین بر ظهور گیاهچه ارقام زمستانه گندم در کشت‌های

ارقام مختلف گندم دارای طیف وسیعی از واکنش نسبت به جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی هستند که بیانگر تنوع بالا در خصوص این صفت است. برای مثال محققان برای حداقل پتانسیل آب لازم برای ۸۵ درصد جوانه‌زنی در ارقام مختلف گندم، از پتانسیل  $-0.4$  مگاپاسکال (Al-Karaki, 2005; Rinaldi et al., 1998) تا پتانسیل  $-1.57$  مگاپاسکال (Wuest and Lutcher, 2012) را مشاهده کرده‌اند. در مطالعاتی که در ایران با استفاده از مدل هیدروتایم برای ارزیابی واکنش محموله‌های بذری گندم در مرحله جوانه‌زنی به تنش خشکی انجام شده، دامنه پتانسیل آب پایه محموله‌های بذری از  $-1.66$  تا  $-2.02$  مگاپاسکال (Rabbani et al., 2014) و  $-1.91$  تا  $-2.37$  مگاپاسکال (Jamali et al., 2013) گزارش شده است. از این رو شاید بتوان بیان داشت

عمیق در خاک‌های خشک اثرگذار است ( Singh et al., 2013). طبق نتایج جدول همبستگی، بین طول کلئوپتیل، بینه گیاهچه و پتانسیل آب پایه همبستگی معنی‌دار و منفی وجود دارد به بیان دیگر ارقام با پتانسیل آب پایه منفی‌تر، دارای طول کلئوپتیل و بینه گیاهچه بیشتری می‌باشند (جدول ۵).

### نتیجه‌گیری نهایی

به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اهمیت طول کلئوپتیل در سبزشدن بذرها از عمق بیشتر قابل‌چشم‌پوشی نیست. اما از طرفی در نظر گرفتن تنها این صفت به‌منظور انتخاب ارقام برای کشت در مناطق دیم و یا مناطقی با شرایط قابلیت دسترسی محدود به آب؛ کافی نیست. اگر معیار انتخاب رقم، صرفاً طول کلئوپتیل بیشتر باشد و بذرها در عمق‌های بیشتر از حد معمول کشت گردد تا از اثرات کم‌آبی اجتناب گردد؛ این کار موجب دیر سبزی و کاهش یکنواختی سبزشدن گیاهچه‌ها در مزرعه خواهد شد. همچنین در صورت تداوم دوره خشکی و عدم تأمین آب کافی به‌منظور رشد گیاهچه‌ها در ابتدای فصل رشد، به گیاهچه‌های رشد کرده در زیر سطح خاک آسیب وارد شده و منجر به کاهش محسوس سطح سبز و در نهایت کاهش محصول خواهد شد. از این رو در نظر گرفتن پتانسیل آب پایه به‌منظور یک صفت مکمل و یا حتی جایگزین برای انتخاب ارقام مناطق کم‌آب مشکلات مذکور را تا حد قابل‌قبولی مرتفع می‌سازد. چراکه در مواجهه با

شرایط تنش خشکی در مرحله سبزشدن به‌منظور گریز از این شرایط، نیازی به افزایش عمق کاشت نبوده و با انتخاب ارقام دارای پتانسیل آب پایه منفی‌تر می‌توان بذرها را در عمق‌های کمتر کشت کرده و با این استراتژی، سبزشدن و استقرار گیاهچه‌ها با حداقل آب در دسترس، به‌صورت مطلوب در مزرعه رخ خواهد داد. همچنین تاکنون در برنامه‌های اصلاح ارقام نیز از این صفت به‌صورت گسترده به کار گرفته نشده است، در صورتی که این کار می‌تواند راه‌حل مناسبی جهت اصلاح ارقام سازگار به شرایط کم‌آبی ارائه دهد.

هرچند که این مطالعه در سطح محدودی از ارقام گندم انجام شده است اما می‌تواند دید مناسبی به الگوی جوانه‌زنی بذر ارقام گندم در مواجهه با تنش خشکی ارائه دهد. به‌طور کلی نتایج این مطالعه بیانگر تفاوت ارقام گندم در پاسخ به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی بذرها بود. این موضوع می‌تواند به طور مؤثری در مدیریت زراعی مزارع گندم در انتخاب ارقام مناسب با توجه به میزان آب در دسترس در زمان کشت مفید واقع شود. همچنین در نظر گرفتن اهمیت این موضوع از جانب اصلاح‌گران ارقام به‌منظور توجه به واکنش جوانه‌زنی بذرها در شرایط تنش خشکی حائز اهمیت است. در تکمیل این مطالعه پیشنهاد می‌شود واکنش بذرها به تنش خشکی در سایر ارقام گندم و همچنین در دامنه بیشتری از تنش خشکی در شرایط آزمایشگاه و همچنین شرایط مزرعه بررسی شده و ارقام برتر از این نظر معرفی شده و مورد استفاده به‌نژادگران گیاهی قرار گیرد.

جدول ۵. همبستگی بین طول کلئوپتیل، بینه گیاهچه و پارامترهای مدل هیدروتایم در ارقام گندم.

Table 5. Correlation coefficients between coleoptile length, seedling vigor and hydrotim model parameters in wheat cultivars.

	بنیه گیاهچه Seedling vigor	طول کلئوپتیل Coleoptile Length	ضریب هیدروتایم Hydrotim coefficient( $\theta_H$ )	پتانسیل آب پایه Base water potential( $\psi_{b50}$ )	سیگما Sigma ( $\sigma_{\psi b}$ )
بنیه گیاهچه Seedling vigor	1				
طول کلئوپتیل Coleoptile Length	0.65*	1			
ضریب هیدروتایم Hydrotim coefficient( $\theta_H$ )	0.53 <sup>ns</sup>	0.64*	1		
پتانسیل آب پایه Base water potential( $\psi_{b50}$ )	-0.49*	-0.76**	-0.81**	1	
سیگما Sigma( $\sigma_{\psi b}$ )	0.82**	0.46 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>	-0.31 <sup>ns</sup>	1

\*\*، \* و <sup>ns</sup> به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح یک، پنج درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.

\*\*، \*، and <sup>ns</sup> indicate significance at the 1%, 5%, and non-significant levels, respectively.

## منابع

- Adeli, R., Soltani, E., Akbari, G.A., Ramshini, H.A., 2017. Assessment of seed germination on the response to water potential in different canola genotypes using hydrotim model. *Journal of Agricultural Crops Production*. 19, 921-932. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22059/jci.2017.60473>
- Alimaghani, S.M., Ghaderi-Far, F., 2014. Hydrotim model: Introduction and application of this model in seed researches. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 7, 41-52. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2014.154>
- Al-Karaki, G.N., 1998. Response of wheat and barley during germination to seed osmopriming at different water potential. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 181, 229-235. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1998.tb00422.x>
- Allan, R., Vogel, O., Burleigh, J., 1962. Length and estimated number of coleoptile parenchyma cells of six wheat selections grown at two temperatures. *Journal of Crop Science*. 2, 522-524. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200060025x>
- Botwright, T.L., Rebetzke, G.J., Condon, A.G., Richards, R.A., 2001. Influence of variety, seed position and seed source on screening for coleoptile length in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*. 119, 349-356. <https://doi.org/10.1023/A:1017527911084>
- Bradford, K.J., Somasco O.A., 1994. Water relations of lettuce seed thermoinhibition Priming and endosperm effects on base water potential. *Seed Science Research*. 4, 1-10.
- Bradford, K.J., Still, D.W., 2004. Applications of hydrotim analysis in seed testing. *Seed Technology*. 26, 75-85. <http://www.jstor.org/stable/23433495>
- Brill, R., McMullen, G., Gardner, M., 2012. The effect of sowing depth on the establishment of several commercial wheat varieties. *Proceedings of the 16<sup>th</sup> ASA Conference, Capturing Opportunities and Overcoming Obstacles in Australian Agronomy*. 14-18 October 2012, Armidale, Australia.
- Chegni, H., Goldani, M., Shiranirad, A.H., Kafi, M., 2015. Effects of terminal drought stress on some biochemical and agronomic characteristics in some rapeseed lines (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*. 8, 29-41. [In Persian with English Summary].
- Daiyoulhagh, D., Rashidi, V., Aharizad, S., Farahvash, F., Mershekari, B., 2022. Yield stability analysis of advanced spring wheat genotypes under non-stress and drought stress conditions. *Journal of Plant Production*. 44, 489-502. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.33143.1889>
- Dashtaki, M., Bihamta, M.R., Majidi, E., Azizinezhad, R., 2020. Study of seed germination indices in bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under drought stress simulated with polyethylene glycol. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*. 13, 197-210. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1828.1430>
- Donald, C.M., Puckridge, D.W., 1975. The ecology of the wheat crop. In: Lazenby, A., Matheson, E.M. (eds.), *Australian Field Crops. Volume 1: Wheat and Other Temperate Cereals*. Angus and Robertson, Sydney, Australia, pp. 288-303.
- Farhad, M.D., AbdulHakim, M.D., Ashraful, A., Barma, N.C.D., 2014. Screening wheat genotypes for coleoptile length: A trait for drought tolerance. *American Journal of Agriculture and Forestry*. 2, 237-245. <https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20140206.11>
- Gan, Y., Stobbe E.H., Moes, J., 1992. Relative date of wheat seedling emergence and its impact on grain yield. *Journal of Crop Science*. 32, 1275-1281. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1992.0011183X003200050042X>
- Ghaderi-Far, F., Soltani, A., Sadeghipour, H., 2009. Evaluation of nonlinear regression models for quantification of paper seed germination (*Cucurbita pepo* L.) subsp. Pepo. Convar. Pepo var. Styriaca Greb), Brago (*Borago officinalis* L.) and Black Seed (*Nigella sativa* L.) to temperature. *Journal of Plant Production Research*. 4, 1-19. [In Persian with English Summary]
- Ghaderi-Far, F., Gorzin, M., 2019. *Applied Research in Seed Technology*. Publication of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. 240p. [In Persian]
- Ghanifathi, T., Valizadeh, M., Shahryari, R., Shahbazi, H., 2011. Effect of drought stress on

- germination indices and seedling growth of 12 bread wheat genotypes. *Journal of Advances in Environmental Biology*. 5, 1034-1039.
- Hamidi, S., Ghaderi-Far, F., Siahmarguee, A., Torabi, B., Behroj, M., 2022. Hydrotime model: an indicator for assessing drought stress tolerance of different quinoa genotypes at the germination stage. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*. 15, 459-469. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.3785.1914>
- Heydari, N., 2022. Wheat water productivity in Iran compared with data of some countries. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Science)*. 35, 421-436. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22092/jwra.2022.356037.892>
- Hucl, P., 1993. Effect of temperature and moisture stress on the germination of diverse common bean genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*. 73, 697-702. <https://doi.org/10.4141/cjps93-091>
- Iran Meteorological Organization, 2023. Golestan Province Climatological Yearbook 2022-2023. General Department of Meteorology of Golestan Province. [In Persian]
- Iranian Ministry of Agricultural Jihad, 2024. Agricultural statistics: Crop Products 2022-2023. Deputy of Economic Planning Statistics, Information, and Communication Technology Center. Volume I, 126p. [In Persian].
- Jamali, M., 2013. The influence of priming on germination of wheat whit various seed vigor under environmental stress. MSc dissertation, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. [In Persian].
- Keshavarz, M., 2019. Addressing compatibility of the farm management strategies with climate change: the case of fars province. *Journal of Iran Agricultural Extension and Education*. 14, 107-123. [In Persian with English Summary].
- Mahdi, L., Bell, C.J., Ryan, J., 1998. Establishment and yield of wheat (*Triticum turgidum* L.) after early sowing at various depths in a semi-arid Mediterranean environment. *Journal of Field Crops Research*, 58, 187-196. [https://doi.org/10.1016/s0378-4290\(98\)00094-x](https://doi.org/10.1016/s0378-4290(98)00094-x)
- Majer, P., Sass, L., Lelley, T., Cseuz, L., Vass, I., Dudits, D., Pauk, J., 2008. Testing drought tolerance of wheat by a complex stress diagnostic system installed in greenhouse. *Acta Biologica Szegediensis* 52, 97-100.
- Matsui, T., Inanaga, S., Shimotashior, T., An, P., Sugimoto, Y., 2002. Morphological characters related to varietal differences in tolerance to deep sowing in wheat. *Journal of Plant Production Science*. 5, 169-174. <https://doi.org/10.1626/pps.5.169>
- Mesgaran, M.B., Mashhadi, H.R., Alizadeh, H., Hunt, J., Young, K.R., Cousens, R.D., 2013. Importance of distribution function selection for hydrothermal time models of seed germination. *Journal of Weed Research*. 53, 89-101. <https://doi.org/10.4111/wre.12008>
- Meyer, S.E., Pendleton, R.L., 2000. Genetic regulation of seed dormancy in *Purshia tridentate* (Rosaceae). *Annals of Botany*. 85, 521-529. <https://doi.org/10.1006/anbo.1999.1099>
- Michel, B.E., Kaufmann, M.R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Journal of Plant Physiology*. 51, 914-916. <https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914>
- Mohan, A., Schillinger, W.F., Gill, K.S., 2013. Wheat seedling emergence from deep planting depths and its relationship with coleoptile length. *PLoS One*. 8(9), e73314. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073314>
- Rabbani Mohammadi, R., Ghaderi-Far, F., Soltani, F., Sadeghipour, H., 2014. Application of hydrotime model in predicting emergence of wheat seed shipments. *Journal of Crop Production*. 17, 1-16. [In Persian with English Summary].
- Ramshini, H., Mirzazadeh, T., Moghaddam, M.E., 2016. Comparison of old and new wheat cultivars in Iran by measuring germination related traits, osmotic tolerance and ISSR diversity. *Journal of Physiology and Molecular Biology of Plants*. 22, 391-398. <https://doi.org/10.1007/s12298-016-0372-0>
- Rinaldi, M., Paolo, E.D., Richter, G.M., Rayne, R.W., 2005. Modelling the effect of soil moisture on germination and emergence of wheat and sugar beet with the minimum number of parameters. *Annals of Applied Biology*. 147, 69-80. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.00018.x>
- Roy, J., Biswas, P.K., Ali, M.H., Rahman. A., 2011. Effect of sowing depth and population density on yield attributes and yield of wheat.

- Technical Journal of Engineering and Applied Sciences. 1, 125–33.
- Schillinger, W.F., Donaldson, E., Allan, R.E., Jones, S.S., 1998. Winter wheat seedling emergence from deep sowing depth. *Agronomy Journal*. 90, 582–586. <https://doi.org/10.2134/agronj1998.00021962009000050002x>
- Shirazi, E., Fazeli-Nasab, B., Ramshin, H.A., Najaf-Abadi, F., Izadi-Darbandi, A., 2016. Evaluation of drought tolerance in wheat genotypes under drought stress at germination stage. *Journal of Crop Breeding*. 8, 207-2019. [In Persian with English Summary]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286128.1395.8.20.2.9>
- Singh, H. V., Jha, G., Babu, S., Jha, A. K., 2013. Effect of seed rate and sowing depth on growth, yield attributes and yield of irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) in Madhya Pradesh. *Indian Journal of Agronomy*. 58, 259-261. <https://doi.org/10.59797/ija.v58i2.4184>
- Singh, P., Ibrahim, H.M., Flury, M., Schillinger, W.F., Knappenberger, T., 2013. Critical water potentials for germination of wheat cultivars in the dryland Northwest USA. *Journal of Seed Science Research*. 23, 189-198. <https://doi.org/10.1017/S0960258513000172>
- Soltani, A. 2007. Application of SAS in statistical analysis. Publication of Jihad Daneshgahi of Mashhad. Mashhad, Iran [In Persian]
- Soltani, A., Zeinali, E., Galeshi, S., Latifi, N., 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. *Journal of Seed Science and Technology*. 29, 653-662.
- Soltani-nejad, N., Khodarahmi, M., Jalal-Kamali, M.R., Majidi-Hervan, E., Ahmadi, G.H., 2013. Study of drought tolerance in bread wheat lines and cultivars using agronomic and morphological traits. *Journal of Crop Production under Environmental Stresses*. 4, 39-50. [In Persian with English Summary]. <https://sid.ir/paper/232078/fa>
- Springer, T.L., 2005. Germination and early seedling growth of chaffy-seeded grasses at negative water potentials. *Journal of Crop Science*. 45, 2075-2080. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0061>
- Tatari, S., Ghaderi-Far, F., Yamchi, A., Siahmarguee, A., Shayanfar, A., Baskin, C.C., 2020. Application of the hydrotime model to assess seed priming effects on the germination of rapeseed (*Brassica napus* L.) in response to water stress. *Botany* 98, 283-291. <https://doi.org/10.1139/cjb-2019-0192>
- Tesfaye, K., Kruseman, G., Cairns, J.E., Zaman-Allah, M., Wegary, D., Zaidi, P.H., Erenstein, O., 2018. Potential benefits of drought and heat tolerance for adapting maize to climate change in tropical environments. *Journal of Climate Risk Management*. 19, 106-119. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.10.001>
- Windauer, L., Altuna, A., Benech-Arnold, R., 2007. Hydrotime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Journal of Industrial Crops Products*. 25, 70-74. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.07.004>
- Wuest, S.B., Lutcher, L.K., 2012. Soil water potential requirement for germination of winter wheat. *Soil Science Society of America Journal*. 77, 279–283. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0110>
- Yagmur, M., Kaydan, D., 2009. The effects of different sowing depth on grain yield and some grain yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under dryland conditions. *African Journal of Biotechnology*. 8, 196-201.
- Zhang, H., Wang, H., 2012. Evaluation of drought tolerance from a wheat recombination inbred line population at the early seedling growth stage. *African Journal of Agricultural Research*. 7, 6167-6172. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.2004>