



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"

دوره پنجم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۹۷

<http://arpe.gonbad.ac.ir>

بررسی اثر تنش غرقاب در مرحله گیاهچه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف گندم (*Triticum aestivum L.*)

سارا پیردهقان^۱، علی راحمی کاریزکی^{۲*}، ابراهیم غلامعلی پورعلمداری^۳، حسین صبوری^۴

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

^۲استادیاران گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

^۳دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۷

چکیده

مقدمه: گندم با سطح زیر کشت بیش از ۲۴۰ میلیون هکتار در جهان مهم‌ترین منبع غذایی و اقتصادی بیش از یک میلیارد انسان در کشورهای در حال توسعه است. غرقاب به عنوان تنش غیرزیستی و از خطرناک‌ترین رخدادهای طبیعی است؛ که فشار شدیدی را بر گیاهان ایجاد می‌کند؛ زیرا آب اضافه در محیط زندگی گیاه می‌تواند آن را از اکسیژن و دی‌اکسید کربن محروم نماید؛ لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تنش غرقابی در مراحل گیاهچه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تأثیر تنش غرقابی در مراحل گیاهچه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبد کاووس در سال زراعی ۹۵-۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دوره‌های مختلف غرقابی (صفر، ۱۰ و ۲۰ روز) و ارقام گندم (شامل کریم، کوهدهشت، لاین ۱۷، قابوس و آفتاب، مروارید، آذر ۲، سرداری، گنبد و زاگرس) بود. در هر گلدان ۵ عدد بذر کشت شد و پس از سبزشدن و در مرحله سه برگی به تعداد سه گیاهچه کاهش یافت.

*نويسنده مسئول: alirahemi@yahoo.com

بررسی اثر تنش غرقاب در مرحله گیاهچه‌ای بر...

نتایج: نتایج تجزیه واریانس نشان دادند که اثر رقم بر تمامی صفات و اثر غرقاب هم در همه صفات به غیر از صفت طول سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند؛ اما اثر متقابل رقم × غرقاب در صفات تعداد پنجه بارور و وزن خشک بوته غیرمعنی‌دار، و در صفت تعداد دانه در سطح احتمال پنج درصد و باقی صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، رقم آذر ۲ و سرداری بیشترین ارتفاع بوته در همه سطوح تنش را داشتند. طول خوش حساسیتی به تنش نشان نداد و رقم گنبد نسبت به سایر ارقام بیشترین طول خوش را داشت. با افزایش سطوح تنش میانگین تعداد دانه در هر پنجه و وزن دانه در هر پنجه افزایش و میانگین تعداد پنجه بارور کاهش یافت؛ بر همین اساس رقم گنبد پایین‌ترین تعداد پنجه بارور و بالاترین تعداد دانه در هر پنجه و وزن دانه در هر پنجه را دارا بود؛ هم‌چنین با توجه به نتایج رقم گنبد در سطوح تنش بالاترین عملکرد و رقم آفتاب بالاترین شاخص برداشت را داشت.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج بدست آمده تنش غرقابی باعث کاهش معنی‌دار برخی صفات از جمله ارتفاع بوته، تعداد پنجه بارور و عملکرد دانه و افزایش برخی از صفات مانند تعداد دانه در پنجه و وزن کل دانه و شاخص برداشت شد. با این حال می‌توان بیان داشت که رقم گنبد در شرایط تنش رقم برتر بود. اما به طور کلی ارقام مختلف واکنش‌های متفاوتی به تنش داشتند؛ لذا پیشنهاد می‌شود که تنش در مراحل بعدی رشد هم اعمال شود.

واژه‌های کلیدی: تنش، غرقاب، عملکرد، شاخص برداشت

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) از جمله غلات عمده است که به علت سهولت تولید و اهمیت آن در تغذیه انسان در سطح گسترده‌ای در دنیا تولید می‌شود، و با سطح زیرکشت بیش از ۲۰۰ میلیون هکتار در جهان مهم‌ترین منبع غذایی و اقتصادی بیش از یک میلیارد انسان در کشورهای در حال توسعه است (Singh *et al.*, 2008; Kazemi Arbat, 2005). در ایران نیز گندم مهم‌ترین گیاه زراعی بهشمار می‌رود که سطح زیر کشت آن بالغ بر نیمی از اراضی زیر کشت گیاهان زراعی (حدود ۶۸/۶ میلیون هکتار) است. گندم بهدلیل اهمیت غذایی (منبع اصلی کربوهیدرات) و طیف نسبتاً گسترده سازگاری به شرایط متفاوت آب و هوایی، در مقایسه با سایر گیاهان زراعی در سطح وسیع‌تری کاشته می‌شود (Siyadat *et al.*, 2013).

غرقاب به عنوان تنش غیرزیستی و از خطرناک‌ترین رخدادهای طبیعی است که در اثر عوامل متعددی از قبیل بارندگی‌های شدید، طغیان رودخانه‌ها، آبیاری بیش از حد همراه با زهکشی ضعیف خاک، وجود لایه‌های غیرقابل نفوذ در خاک، عدم وجود زهکش مناسب و سیلاب‌های بهاره ایجاد می‌شود (Ahmed *et al.*, 2012). شرایط غرقابی فشار شدیدی را بر روی گیاهان ایجاد می‌کند؛ زیرا

آب اضافه در محیط زندگی گیاه می‌تواند آن را از اکسیژن و دی‌اکسیدکربن محروم نماید (Michael et al., 2009). غرقابی غلظت اکسیژن ریشه را کاهش می‌دهد؛ که سبب تغییر در شدت تنفس تاریکی و افزایش استفاده از کربوهیدرات و سنتز آنتی اکسیدان‌ها می‌شود (Sun et al., 2015). در حالت غرقابی، اگرچه فقط ریشه‌ی گیاهان خشکی‌زی در معرض کمبود اکسیژن محیطی قرار می‌گیرند؛ ولی به کل اندام گیاه آسیب وارد می‌شود. از عوارض آن می‌توان به کاهش رشد ریشه و در نهایت کاهش رشد اندام هوایی، عملکرد و اجزای عملکرد اشاره نمود (Ghobadi et al., 2006).

نتایج تحقیقات توسط وو و همکاران (Wo et al., 2018) بر روی اثرات فشردگی خاک و غرقاب و ترکیب غرقاب و فشرده‌سازی خاک بر وینگ‌های فیزیولوژیکی گندم در جنوب غربی چین نشان داد که با غرقاب خاک در مرحله پنجه‌زنی اثرات زیان‌باری بر روی ریشه و ساقه در طول رشد یا بعد از غرقابی مشاهده شد. مسگراو و دینگ (Musgrave and Ding, 1998) کاهش ۴۵ درصدی در عملکرد گندم را تحت اثر تنش غرقاب اعلام نمودند؛ آن‌ها بیان نمودند که تعداد دانه مهم‌ترین جزء عملکرد است؛ که تحت تأثیر تنش غرقابی قرار می‌گیرد. مطالعه تنش غرقابی بر شبدار زیر زمینی در منطقه گرگان نشان داد که غرقابی موجب کاهش ۱۶۰.۸ کیلوگرم در هکتار ماده خشک و ۶۳/۸ کیلوگرم در هکتار نیتروژن تشییت شده در بافت گیاه گردید (Galeshi et al., 1996).

مطالعات انجام شده بر روی گیاه پنبه نشان داد که غرقابی به‌طور معنی‌داری سرعت فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Conaty et al., 2008). همچنین مشاهده گردید که تنش غرقابی به‌طور میانگین سبب کاهش ۳۹ تا ۴۴ درصدی عملکرد در گندم و ۳۰ تا ۵۰ درصدی آن در جو شد (Collaku and Harison, 2002). یکی از صفات تعیین‌کننده عملکرد در گندم و گندم کاهش تعداد دانه در پنجه بیشتر باشد مخزن بزرگتری برای مواد فتوسنتزی تولید شده توسط گیاه ایجاد می‌شود که در نهایت منجر به افزایش عملکرد می‌گردد (Collaku and Harison, 2002). دیسان سلدونیو (Desan Celedonio, 2018) در تحقیقاتی بر روی گندم و جو تحت شرایط غرقاب بیان داشتند که تنش غرقابی به طور معنی‌داری تعداد دانه در گیاه را کاهش داد. کاهش تعداد دانه در گندم به کاهش تعداد دانه در سنبله و کاهش تعداد دانه در جو به کاهش تعداد سنبله مرتبط است؛ همچنین در هر دو گونه تنش غرقابی سبب کاهش رشد سنبله شد که باعث کاهش تعداد گلچه بارور در سنبله می‌شود.

ولمر و همکاران (Wollmer et al., 2018) در آزمایشاتی بر روی گندم زمستانه بیان داشتند که تنش غرقابی باعث کاهش طول ساقه و سنبله شد. گرزسیاک و همکاران (Grzesiak et al., 2016) بیان کردند کاهش رشد ریشه در خاک فشرده به علت کمبود میزان اکسیژن است؛ و اگر کمبود هوا کمتر از ۱۰ درصد باشد، هیپوکسی ممکن است باعث محدود شدن رشد ریشه شود؛ که نتیجه‌ی آن کاهش عملکرد می‌باشد.

از آنجایی که استان گلستان از مناطق مهم تولید محصول گندم می‌باشد، در بعضی از سال‌ها بارندگی‌های سنگین پاییزه؛ همچنین بارندگی‌های اوخر زمستان و اوایل بهار در استان گلستان موجب ایجاد شرایط غرقابی در مراحل سبزشدن، گلدهی و پرشدن دانه می‌شود. تعیین پارامترهای حساسیت به غرقابی و مکانیسم‌های مقاومت و بقای گیاهان و انتخاب روش‌های اصلاحی به توسعه بهتر فعالیت‌های مدیریتی در برابر تنش غرقابی کمک خواهد کرد. با شناخت دقیق مراحل رشد و نمو گیاهان زراعی و با شناخت دقیق‌تر این مسأله که تنش غرقابی در چه مرحله‌ای از رشد و نمو خسارتمیش‌تری وارد می‌نماید؛ می‌توان با مدیریت بهتر در تمام مراحل رشد و نمو و یا حداقل در مراحل حساس‌تر به این تنش (مرحله گیاهچه‌ای)، خسارت آن را به حداقل رساند؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تنش غرقابی در مراحل گیاهچه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دوره‌های مختلف غرقابی (صفر، ۱۰ و ۲۰ روز) و ارقام گندم (شامل کریم، کوهدهشت، لاین، ۱۷ قابوس و آفتاب، مروارید، آذر ۲، سرداری، گنبد و زاگرس) بودند. ابتدا تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس انجام شد؛ که خاک مزرعه دارای بافت خاک لومی سیلتی بود (جدول ۱).

بذرها در گلدان‌های پلاستیکی که با محتوای ۵ کیلوگرم خاک با ترکیبی از دوسوم خاک سرند شده و یکسوم کود حیوانی برای جلوگیری از سله بستن خاک که دارای قطر ۲۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر بودند؛ کاشته شد. خاک گلدان‌ها از خاک مزرعه پژوهشی دانشگاه گنبد کاووس تهیه شد. در هر گلدان پنج عدد بذر کاشته شد و پس از سبزشدن و در مرحله سه برگی، به تعداد سه گیاهچه، کاهش یافت. با توجه به آزمایش خاک و توصیه کودی، تنها کود ازته استفاده گردید و با توجه به مساحت گلدان کود ازت در اوایل کاشت قبل از جوانهزنی و بعد از مرحله ساقده‌هی به صورت محلول استفاده شد. لازم به ذکر است که توصیه کودی برای گندم با توجه به آمار عملکرد متوسط ده‌ساله غلات معرفی شده به ایستگاه تحقیقات گنبد کاووس ۱۵ گرم در مترمربع در نظر گرفته شد.

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری)

Table 1- Some physical and chemical characteristics of the soil used in the test
(depth 0-30 cm)

Characteristic	مشخصه	مقدار Quantity
EC (dS/m^{-1})	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	1.19
pH	پی اچ	7.9
Neutralizing agents(%)	مواد خنثی‌شونده (درصد)	9.8
Organic Carbon(%)	کربن آلی (درصد)	0.68
Total nitrogen (%)	نیتروژن کل (درصد)	0.07
Acceptable phosphorus (ppm)	فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون)	13.4
Acceptable potassium (ppm)	پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون)	356
Clay (%)	رس (درصد)	15
Lay (%)	لای (درصد)	64
Sand (%)	ماسه (درصد)	21

به منظور اعمال تیمارهای غرقابی، حوضچه‌هایی به ابعاد ۹۰ در ۲۵۰ سانتی‌متر با استفاده از دیوارهای بلوکی به ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و پوشش پلاستیکی ضخیم ایجاد شد و در زمان اعمال تنش، حوضچه‌ها به میزانی که سطح خاک گلدان‌ها در حالت غرقاب قرار گیرید از آب اشباع شد. زمان اعمال تنش در کرت‌های مربوط به تیمار تنش ۲۰ روز غرقاب، زمانی در نظر گرفته شد که ۹۰ درصد گلدان‌ها به مرحله سه برگی رسیده شدند و پس از گذشت ۱۰ روز از اعمال این سطح از تنش، کرت‌های مربوط به ۱۰ روز تنش، به مدت ۱۰ روز تحت شرایط غرقاب قرار گرفتند و گیاهان در سطوح تنش در یک زمان از شرایط خارج شدند. از این مرحله به بعد گیاهان در شرایط رشد طبیعی و مطلوب تا انتهای فصل رشد قرار گرفتند و تمام گلدان‌ها روزانه تا رسیدن به ظرفیت زراعی آبیاری شدند.

عملیات داشت شامل کودهای، وجین به صورت دستی در هر گلدان، مبارزه با بیماری زنگ زرد در مرحله سنبله‌دهی با استفاده از سم تیلت (پروپیکونازول) پنج سی سی در یک لیتر آب و برای مبارزه با آفات سم مالاتیون به میزان چهار سی سی در نیم لیتر آب به صورت اسپری استفاده شد. مقدار دوز سم‌ها براساس دستورالعمل آن یک لیتر در هکتار در ۲۰۰ لیتر آب بود؛ که به این ترتیب محلول ۵ در هزار سی سی می‌شود. بر این اساس محلول سم ۵ در هزار سی سی و محلول پاشی انجام شد. در ابتدا

بررسی اثر تنش غرقاب در مرحله گیاهچه‌ای بر...

سطح کلی گلدان‌ها محاسبه و سپس محلول سم مورد نیاز تعیین و سمپاشی انجام شد. آبیاری به‌طور دقیق در طول فصل رشد انجام گرفت.

در پایان آزمایش و پس از رسیدگی، بوته‌های گلدان‌ها، کف بر و به آزمایشگاه منتقل شدند و ارتفاع بلندترین بوته از قسمت طوفه تا انتهای ساقه بدون در نظر گرفتن ریشک؛ همچنین طول سنبله در بلندترین بوته هم بدون در نظر گرفتن ریشک با استفاده از خطکش میلی‌متری اندازه‌گیری شدند و تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در سنبله اصلی و تعداد دانه در سنبله‌های فرعی شمارش شدند. عملکرد دانه و بیولوژیک با استفاده از ترازوی یک صدم گرم اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه به‌صورت تک بوته در هر گلدان محاسبه شد و شاخص برداشت از فرمول زیر به‌دست آمد.

$$HI \text{ (Harvest Index)} = (Y/BY) \times 100$$

در این معادله Y: عملکرد دانه (بر حسب گرم در بوته)، BY (Biological Yield) (بر حسب درصد) می‌باشد. HI: شاخص برداشت (بر حسب درصد) می‌باشد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و طول سنبله: نتایج تجزیه واریانس نشان دادند که اثر غرقاب و رقم و اثر متقابل غرقاب و رقم بر صفت ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین ارقام گندم در شرایط عدم تنش و تنش غرقابی ۱۰ و ۲۰ روز نشان دادند که بالاترین ارتفاع بوته در سطح شاهد و تنش غرقاب ۱۰ روز و ۲۰ روز در رقم آذر ۲ و سرداری مشاهده شد؛ و کمترین ارتفاع بوته مربوط به رقم آفتاب بود (جدول ۳)؛ با این حال با افزایش تنش میانگین ارتفاع بوته در ارقام کاهش یافت. با توجه به نتایج می‌توان بیان داشت که ارتفاع بوته هم تحت تأثیر ژنتیک و هم شرایط محیطی قرار می‌گیرد، اما بیشتر تحت تأثیر ژنتیک می‌باشد؛ زیرا رقمی که در شرایط شاهد از کمترین ارتفاع برخوردار بود تحت شرایط تنش هم از پایین‌ترین ارتفاع نسبت به سایر ارقام برخوردار می‌باشد؛ همچنین یکی از اثرات بارز تنش رطوبتی کاهش ارتفاع بوته است که به دلیل کاهش فاصله میانگره‌ها و به‌طور کلی اندازه گیاه می‌باشد. کاهش ارتفاع بوته کاهش فرست ذخیره مواد فتوسنترزی و در نهایت کاهش عملکرد را به دنبال داشت.

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر غرقاب بر صفت طول سنبله معنی‌دار نبود و اثر رقم و اثر متقابل رقم در غرقاب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین ارقام نشان دادند که لاین ۱۷ در هر سه سطح تنش کمترین طول سنبله را دارا بود؛ همچنین در سطح عدم تنش رقم زاگرس و در سطوح تنش ارقام کوهدهشت و گنبد بالاترین طول سنبله را به خود اختصاص دادند. با افزایش سطوح تنش طول سنبله تغییرات چشمگیری نداشته و مقدار آن تا تنش غرقاب ۱۰ روزه ثابت

بود (جدول ۳). ولمر و همکاران (Wollmer *et al.*, 2018) طی آزمایشاتی روی گندم زمستانه بیان داشتند که تنفس غرقابی باعث کاهش طول ساقه و سنبله شد. نتایج تحقیقات توسط وو و همکاران (Wo *et al.*, 2018) بر روی اثرات فشرده‌گی خاک و غرقاب و ترکیب غرقاب و فشرده‌سازی خاک بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گندم در جنوب غربی چین نشان داد که با غرقاب خاک در مرحله پنجه‌زنی اثرات زیان‌باری بر روی ریشه و ساقه در طول رشد یا بعد از غرقابی مشاهده شد. غرقابی غلظت اکسیژن ریشه را کاهش می‌دهد که سبب تغییر در شدت تنفس تاریکی و افزایش استفاده از کربوهیدرات و سنتز آنتی اکسیدان‌ها می‌شود (Sun *et al.*, 2018). نتایج محققین دیگر با نتایج بدست آمده از نظر ارتفاع بوته مطابقت داشت اما طول سنبله تغییرات چشم‌گیری نداشته بود که علت آن را می‌توان به مدت زمان کم غرقاب و یا اینکه غرقاب در مراحل اولیه انجام شده نسبت داد.

تعداد پنجه بارور و تعداد دانه در هر پنجه و وزن کل دانه در هر پنجه: عملکرد دانه در گندم ناشی از اثرات تجمعی اجزای عملکرد می‌باشد که این اجزا تحت تاثیر مدیریت، ژنتیک و اثر متقابل محیط با ژنتیک قرار می‌گیرد (Aydin *et al.*, 2010)، بنابراین شناسایی این اجزا و رابطه آن‌ها با عملکرد دانه می‌تواند در گزینش ارقام پرمحصول موثر واقع شود. براساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثر رقم و غرقاب بر صفت تعداد پنجه بارور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل رقم در غرقاب معنی‌دار نبود (جدول ۲)، و مفهوم آن اینست که ارقام مورد بررسی مقدار و جهت تغییرات یکسانی را در شرایط متفاوت رطوبتی برای این صفت داشتند. مقایسه میانگین داده‌ها نشان دادند که بیشترین تعداد پنجه بارور در بوته در شرایط عدم تنفس بود، و بین سطوح تنفس ۱۰ و ۲۰ روز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴)؛ هم‌چنین مقایسه میانگین بین ارقام نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد پنجه بارور به ترتیب در ارقام سرداری و گنبد بود و بین ۵ رقم باقی‌مانده تفاوت آماری وجود نداشت (جدول ۴). در مطالعه‌ای که توسط دیکن و رایت (Dickin and Wright, 2008) به ارزیابی‌های ظرفیت پنجه‌زنی ژنتیک‌های متفاوت گندم در شرایط غرقاب انجام شده بود، بیان داشتند که در شرایط غرقاب ظرفیت پنجه‌زنی گیاه محدود می‌گردد.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر غرقاب و رقم بر صفت تعداد دانه در هر پنجه در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل رقم در غرقاب برای این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین سطوح تنفس نشان دادند که رقم سرداری و رقم گنبد به ترتیب پایین‌ترین و بالاترین تعداد دانه در هر پنجه را به خود اختصاص دادند. با افزایش سطوح تنفس میانگین تعداد دانه در هر پنجه افزایش یافت (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم تحت تاثیر تنش غرقابی

Table 2- Analysis of variance (MS) of yield and yield components of wheat cultivars under flooding stress

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول سنبله	تعداد پنجه بارور	تعداد دانه در هر پنجه
S.O.V.	DF	Plant height	Spike length	Number of fertile tillers	Number of seeds per tiller
بلوک Bolck	3	432.04**	2.62 ^{ns}	12.86 ^{ns}	141.17*
غرقاب Flooding (F)	2	1270.96**	3.28 ^{ns}	65.58**	225.98**
خطا الف	6	66.60	4.02	14.65	57.20
Error a					
رقم Cultivar(C)	9	7092.01**	111.62**	153.18**	16393.61**
رقم × غرقاب F × C	18	875.28**	41.34**	48.47 ^{ns}	1138.52*
خطاب Error a	81	1558.21	76.94	155.28	2550.05
ضریب تغییرات CV (%)		5.22	9.26	24.76	17.71

ns, * و **: بهتر ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربوط) عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم تحت تاثیر تنفس غرقابی
Table 2- Analysis of variance (MS) of yield components of wheat cultivars under flooding stress

منبع تغییرات	وزن دانه در هر پنجه	وزن خشک بوته در گلدان	عملکرد دانه	شاخص برداشت	
S.O.V.	DF	Seed weight per tiller	Dry weight of the plant in the pot	Grain yield	Harvest index
بلوک Bolck	3	0.35 **	29.17 ^{ns}	21.80 ^{ns}	464.73*
غرقاب Flooding (F)	2	0.42 **	276.26 **	39.14*	245.26*
خطا الف	6	0.10	45.33	12.23	124.95
Error a					
رقم Cultivar(C)	9	22.81 **	338.24 **	320.59 **	7568.37 **
رقم × غرقاب F × C	18	2.84 **	298.27 ^{ns}	175.93 **	2647.32 **
خطا ب	81	4.42	919.40	247.55	1910.72
Error a					
ضریب تغییرات CV (%)		17.14	20.36	27.74	11.64

ns, * و **: بهتر ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

بررسی اثر تنش غرقاب در مرحله گیاهچه‌ای بر...

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم تحت تأثیر تنش غرقابی

Table 3- Mean comparison of yield and yield components of wheat cultivars under flooding stress

تنش Stress	ارقام Cultivars	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike length	تعداد دانه در هر پنجه Number of seeds per tiller
Control شاهد	کوهدهشت Koohdasht	83.23d	10.33c	30.97b
	کریم Karim	84.70cd	9.82cd	27.28b
	قابوس Qaboops	89.06c	10.29c	40.06a
	مروارید Morvarid	90.40bc	9.49cd	40.24a
	آذر ۲ Azar2	101.85a	10.17c	6.90c
	سرداری Sardari	95.93ab	10.005c	7.05c
	گند Gonbad	85.63cd	11.73ab	46.37a
	لاین ۱۷ Line17	82.52d	8.56d	29.59b
	آفتاب Aftab	80.98d	10.63bc	28.94b
	زاگرس Zagros	86.12cd	12.96a	42.01a
میانگین		88.04	10.39	29.94
تنش ۱۰ روز 10 days stress	کوهدهشت Koohdasht	80.27de	12.52a	31.89d
	کریم Karim	78.14ef	9.71bc	23.59ef
	قابوس Qaboops	85.92cd	10.52b	40.25bc
	مروارید Morvarid	9.71bc	9.49bc	40.89bc
	آذر ۲ Azar2	99.27a	9.99bc	15.93f
	سرداری Sardari	96.50a	9.53bc	7.64g
	گند Gonbad	82.08de	12.17a	53.84a
	لاین ۱۷ Line17	73.81fg	8.99c	28.98de
	آفتاب Aftab	71.49g	10.57b	33.17cd
	زاگرس Zagros	77.64efg	10.48b	41.29b
میانگین		83.58	10.39	31.74
تنش ۲۰ روز 20 days stress	کوهدهشت Koohdasht	81.64c	12.64ab	35.55bc
	کریم Karim	70.32e	10.29de	26.42de
	قابوس Qaboops	79.82c	10.36cde	41.67b
	مروارید Morvarid	77.07cd	9.38de	41.55b
	آذر ۲ Azar2	91.84b	10.57cd	20.25ef
	سرداری Sardari	100.44a	11.30bc	18.08f
	گند Gonbad	78.62c	12.75a	54.34a
	لاین ۱۷ Line17	72.24de	9.16e	34.29bcd
	آفتاب Aftab	70.41e	10.96c	30.40cd
	زاگرس Zagros	78.49c	10.06de	30.45cd
میانگین		80.08	10.74	33.3

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

نشریه تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی / دوره پنجم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۹۷

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم تحت تاثیر تنفس غرائبی

Table 3- Mean comparison of yield and yield components of wheat cultivars under flooding stress

تنفس Stress	ارقام Cultivars	وزن دانه در هر پنجه Seed weight per tiller	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
شاهد Control	کوهدهشت	Koohdasht	1.39bc	9.41a
	کریم	Karim	1.36bc	6.66b
	قابلوس	Qabooos	1.62ab	9.81a
	مروارید	Morvarid	1.73a	9.01ab
	آذر	Azar2	0.27d	2.61c
	سرداری	Sardari	0.32d	3.01c
	گبید	Gonbad	1.79a	8.62ab
	لاین ۱۷	Line17	1.08c	8.95ab
	آفتاب	Aftab	1.33bc	10.86a
	زاگرس	Zagros	1.87a	9.55a
میانگین		Average	1.27	7.84
تنفس ۱۰ روز 10 days stress	کوهدهشت	Koohdasht	1.46cd	6.62ab
	کریم	Karim	1.13d	5.88bc
	قابلوس	Qabooos	1.79b	7.79ab
	مروارید	Morvarid	1.65bc	8.42a
	آذر	Azar2	0.78e	3.93cd
	سرداری	Sardari	0.34f	2.64d
	گبید	Gonbad	2.11a	8.94a
	لاین ۱۷	Line17	1.24d	7.75ab
	آفتاب	Aftab	1.68bc	8.00ab
	زاگرس	Zagros	1.75bc	8.19ab
میانگین		Average	1.39	6.81
تنفس ۲۰ روز 20 days stress	کوهدهشت	Koohdasht	1.60b	6.27abc
	کریم	Karim	1.23cd	5.29bc
	قابلوس	Qabooos	1.67ab	6.12abc
	مروارید	Morvarid	1.52bc	6.24abc
	آذر	Azar2	0.95de	7.68ab
	سرداری	Sardari	0.90e	5.16c
	گبید	Gonbad	1.99a	7.86a
	لاین ۱۷	Line17	1.37bc	7.91a
	آفتاب	Aftab	1.42bc	7.48abc
	زاگرس	Zagros	1.43bc	5.15c
میانگین		Average	1.40	6.51

میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

بررسی اثر تنش غرقاب در مرحله گیاهچه‌ای بر...

جدول ۴- مقایسه میانگین تعداد پنجه بارور و وزن کل بوته در سطوح تنش و ارقام مختلف گندم

Table 4- Mean comparison of number of fertile tillers and weight of plant in levels of stress and different wheat cultivars

تیمارها Treatments		تعداد پنجه بارور Number of fertile tillers	وزن کل بوته weight of plant
تنش غرقابی Flooding stress	شاهد	Control	6.61a
	تنش ۱۰ روز	10 days stress	5.25b
	تنش ۲۰ روز	20 days stress	4.89b
	LSD (0.05)		0.85
	کوهدهشت	Koohdasht	5.13cd
	کریم	Karim	4.83d
ارقام Cultivars	قابوس	Qaboos	4.72d
	مروارید	Morvarid	4.86d
	آذر۲	Azar2	7.16ab
	سرداری	Sardari	7.49a
	گبند	Gonbad	4.36d
	لاین۱۷	Line17	6.83ab
	آفتاب	Aftab	6.05bc
	زاگرس	Zagros	4.44d
	LSD (0.05)		1.12
			2.73

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

از آنجائی‌که یک همبستگی منفی و معنی‌دار بین تعداد پنجه بارور و تعداد دانه در هر پنجه مشاهده شد (جدول ۵). لذا افزایش تعداد دانه در پنجه را می‌توان به کاهش تعداد پنجه بارور در هر بوته نسبت داد، چون با کاهش تعداد پنجه بارور، آسیمیلات بیشتری به سایر پنجه‌ها اختصاص داده می‌شود و این امر باعث افزایش تعداد دانه در پنجه می‌شود؛ لذا رقم گنبد و سرداری که به ترتیب پایین‌ترین و بالاترین تعداد پنجه بارور را دارا بودند از نظر تعداد دانه در هر پنجه در وضعیت بالعلکسی قرار داشتند. تعداد دانه یکی از صفات تعیین‌کننده عملکرد محسوب می‌شود. هرچه تعداد دانه در پنجه بیش‌تر باشد مخزن بزرگتری برای مواد فتوسنترزی تولید شده توسط گیاه ایجاد می‌شود که در نهایت منجر به افزایش عملکرد می‌گردد. همبستگی بین عملکرد دانه و تعداد دانه در هر پنجه مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵).

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در ارقام گندم

Table 5- Correlation coefficients between the studied characteristics in wheat cultivars

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1							
2	0.07 ^{ns}	1						
3	0.40 ^{**}	-0.17 ^{ns}	1					
4	-0.39 ^{**}	0.34 ^{**}	-0.50 ^{**}	1				
5	-0.41 ^{**}	0.37 ^{**}	0.57 ^{**}	0.95 ^{**}	1			
6	0. ^{1ns0}	0.26 ^{**}	0.47 ^{**}	0.41 ^{**}	0.37 ^{**}	1		
7	-0.22 [*]	0.21 [*]	0.17 ^{ns}	0.64 ^{**}	0.65 ^{**}	0.84 ^{**}	1	
8	-0.53 ^{**}	0.10 ^{ns}	-0.25 ^{**}	0.68 ^{**}	0.77 ^{**}	0.37 ^{**}	0.78 ^{**}	1

۱- ارتفاع بوته، ۲- طول سنبله، ۳- تعداد پنجه بارور، ۴- تعداد دانه در هر پنجه، ۵- وزن دانه در هر پنجه، ۶- وزن خشک بوته در گلدان، ۷- عملکرد دانه و ۸- شاخص برداشت

ns, * و **: بهترتیب عدم وجود اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

1- Plant height; 2- Spike length; 3- Number of fertile tillers; 4- Number of seeds per tiller; 5- Seed weight per tiller; 6- Dry weight of the plant in the pot; 7- grain yield and 8- harvest index.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

یکی دیگر از اجزای عملکرد دانه در گندم، وزن دانه است که به عنوان یک جز مهم تعیین کننده ای عملکرد می باشد. جدول تجزیه واریانس داده ها نشان می دهد که اثر غرقاب و رقم و اثر متقابل غرقاب در رقم در صفت وزن کل دانه در هر پنجه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲)؛ همچنین مقایسه میانگین وزن دانه در هر پنجه نشان می دهد که بین ارقام در سطوح تنفس تنوع و تفاوت آماری وجود داشت؛ این در حالی است که بیشترین وزن دانه به ارقام زاگرس و گنبد در سطح شاهد و رقم گنبد در سطوح تنفس ۱۰ و ۲۰ روز اختصاص یافت؛ همچنین پایین ترین وزن دانه در گندم در تمامی سطوح تنفس در ارقام سرداری و آذر ۲ بود؛ و با افزایش سطوح تنفس وزن کل دانه در هر پنجه افزایش یافت (جدول ۳).

افزایش تعداد دانه در هر پنجه باعث افزایش وزن کل دانه در هر پنجه شد و بین این دو صفت همبستگی مثبت و معنی داری وجود داشت (جدول ۵)؛ همچنین با افزایش سطوح تنفس تعداد پنجه بارور کاهش یافت و همبستگی منفی و معنی داری بین تعداد پنجه بارور و تعداد دانه در هر بوته مشاهده شد (جدول ۵). مجدداً این نکته قابل ذکر است که با کاهش تعداد پنجه بارور در بوته تعداد دانه در پنجه افزایش پیدا می کند و مواد غذایی بیشتری به دانه می رسد و مجموع وزن دانه در پنجه افزایش می یابد. دیسان سلدونیو (Desan Celedonio, 2018) در تحقیقاتی بر روی گندم و جو تحت

شرایط غرقاب بیان داشتند که تنش غرقابی به طور معنی‌داری تعداد دانه در گیاه را کاهش داد. کاهش تعداد دانه در گندم به کاهش تعداد دانه در سنبله و کاهش تعداد دانه در جو به کاهش تعداد سنبله مرتبط است؛ همچنین در هر دو گونه تنش غرقابی سبب کاهش رشد سنبله شد که باعث کاهش تعداد گلچه بارور در سنبله می‌شود. که با نتایج یافته‌های بدست آمده مطابقت ندارد و می‌تواند به این علت باشد که تنش غرقابی در مراحل ابتدایی اتفاق افتاده است.

رابطه بین عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت با عملکرد دانه در هر بوته: طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر غرقاب و رقم در سطح ۵ درصد و اثر متقابل غرقاب در رقم در سطح یک درصد برای عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسات میانگین ارقام گندم نشان داد که رقم آفتاب، قابوس، زاگرس و کوهدهشت بالاترین و رقم آذر ۲ و سرداری پایین‌ترین عملکرد دانه در بوته در سطح شاهد را به خود اختصاص دادند؛ در صورتی که در سطح تنش ۱۰ روزه بالاترین و پایین‌ترین عملکرد به ترتیب در ارقام گنبد و سرداری مشاهده شد؛ همچنین در سطح تنش ۲۰ روزه لاین ۱۷ و گنبد از بیشترین عملکرد و ارقام زاگرس و سرداری از کمترین عملکرد برخوردار بودند. هر چند که با افزایش سطوح تنش عملکرد دانه در هر بوته کاهش یافته، اما سطوح تنش ۱۰ و ۲۰ روز تفاوت آشکاری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳).

با توجه به نتایج بدست آمده از عملکرد ارقام رقم گنبد در سطوح تنش ۱۰ و ۲۰ روزه مقاومت بیشتر و عملکرد بالاتری را داشت؛ این در حالی است که رقم زاگرس که در شرایط عدم تنش یکی از بالاترین ارقامی بود که عملکرد بالایی داشت در سطوح تنش ۲۰ روزه به شدت کاهش عملکرد داشت، و رقم سرداری با توجه به اینکه تعداد پنجه بارور زیادی نسبت به سایر ارقام داشت در تمامی سطوح تنش و عدم تنش از عملکرد پایین‌تری برخوردار بود. بالاترین همبستگی عملکرد به ترتیب با عملکرد بیولوژیکی، وزن دانه در هر پنجه و تعداد دانه در هر پنجه بود (جدول ۴). کاهش سنتز ATP و در دسترس بودن منبع کربوهیدرات‌های برای رشد ریشه و عملکرد آن مقدمه کاهش اساسی در رشد ریشه و عملکرد محصول است (Herzog *et al.*, 2016).

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان دادند که اثر رقم و غرقاب برای صفت وزن خشک کل بوته در گلدان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل رقم در غرقاب عدم معنی‌داری را نشان داده بود (جدول ۲)؛ همچنین با توجه به نتایج جدول مقایسه میانگین بیشترین وزن کل بوته در گلدان در سطح عدم تنش و کمترین آن در سطح تنش ۲۰ روزه مشاهده شد؛ با این وجود در سطوح تنش ۱۰ و ۲۰ روزه تفاوت زیادی وجود نداشت. همچنین بیشترین عملکرد بیولوژیک در رقم گنبد و کمترین آن در ارقام کریم و سرداری بود (جدول ۳). همبستگی بین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار و نزدیک به یک بود؛ همچنین همبستگی بین عملکرد بیولوژیک و سایر

اجزای عملکرد هم مثبت و معنی دار بود (جدول ۴). در حالت غرقابی اگرچه فقط ریشه گیاهان خشکی زی در معرض کمبود اکسیژن محیطی قرار می گیرند ولی به کل اندام گیاه آسیب می رسد. از عوارض آن می توان به کاهش رشد ریشه و در نهایت کاهش رشد اندام هوایی، عملکرد و اجزای عملکرد اشاره نمود (Ghobadi *et al.*, 2006)

براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر رقم و غرقاب برای شاخص برداشت به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد و اثر متقابل رقم در غرقاب در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود؛ هم چنین با توجه به جدول مقایسه میانگین ارقام گندم بالاترین شاخص برداشت در شرایط عدم تنفس در ارقام کوهدهشت و آفتاب و تحت شرایط تنفس در رقم آفتاب مشاهده شد و پایین ترین شاخص برداشت در تمامی سطوح تنفس در رقم سرداری بود (جدول ۳). شاخص برداشت در سطح تنفس ۲۰ روز نسبت به سطوح دیگر بالاتر بود، این در حالی است که در این سطح از تنفس عملکرد دانه نسبت به سطوح دیگر پایین تر بود؛ بنابراین می توان نتیجه گرفت که در این سطح از تنفس گیاه برای بقای بیشتر دوره رویشی خود را کوتاه تر کرده و سریعاً وارد فاز زایشی شده است. همبستگی بین عملکرد دانه با شاخص برداشت معنی دار و مثبت بود (جدول ۵). قبادی و همکاران (Ghobadi *et al.*, 2006) بیان نمودند که دوره های مختلف تنفس غرقابی (۱۰، ۲۰ و ۳۰ روز) در سه مرحله نموی یک برگی، سه برگی و شروع ساقه رفتن در گندم، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت را کاهش داد، که با نتایج بدست آمده جدا از شاخص برداشت مطابقت دارد که توجیه آن را می توان به این دلیل نسبت داد، که گیاه تحت شرایط غرقابی دوره رویشی خود را کوتاه کرده و وارد مرحله گردیده افشنانی شده است، در نتیجه گیاه مواد فتوستنتزی را صرف تولید دانه می نماید.

نتیجه گیری

براساس نتایج بدست آمده ارتفاع بوته تحت تنفس غرقابی کاهش یافت که در نتیجه کاهش فرصت ذخیره مواد فتوستنتزی بود. طول خوشه در شرایط عدم تنفس و تنفس تقریباً ثابت بود و حساسیتی به این شرایط نشان نداد. تعداد پنجه بارور با افزایش سطوح تنفس کاهش یافت که این مطلب باعث هدایت مواد فتوستنتزی بیشتری به سمت تولید دانه و عملکرد نهایی شد. تعداد دانه در پنجه و وزن دانه در پنجه به دلیل اینکه گیاه سریعاً وارد فاز زایشی شده و مواد غذایی بیشتری را صرف تولید دانه کرد، افزایش یافت. عملکرد دانه در سطح عدم تنفس بالاترین بود و علت آن را می توان به تعداد پنجه بارور بیشتر نسبت داد. رقم گندب از نظر صفات طول خوشه، وزن دانه در هر پنجه، تعداد دانه در هر پنجه و عملکرد دانه در شرایط تنفس مقاومت بیشتری را نسبت به سایر ارقام از خود نشان داد؛ و لاین ۱۷ از نظر شاخص برداشت برتر بود؛ اما به طور کلی ارقام مختلف واکنش های متفاوتی به تنفس داشتند؛ به

گونه‌ای که در هر صفت یک یا چند رقم بتر بودند؛ به همین دلیل بهتر است که تنش در مراحل بعدی رشد برای شفاف نشان دادن نتیجه‌گیری بدست آمده اعمال شود.

منابع

- Ahmed F., Rafii M.Y., Ismail M.R., Juraimi A.S., Rahim H.A., Asfaliza R., Latif M.A. 2012. Waterlogging tolerance of crops: breeding, mechanism of tolerance, molecular approaches, and future prospects. Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International, Pp: 1-10.
- Aydin N., Mut Z., Ozcan H. 2010. Estimation of broad-sense heritability for grain yield and some agronomic and quality traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of food, Agriculture and environment, 8 (2): 419-421.
- Collaku A., Harison S.A. 2002. Losses in wheat due to waterlogging. Crop Science, 42: 444-450.
- Conaty W.C., Tan D.K.Y., Constable G.A., Sutton B.G., Field D.J., Mamum E.A. 2008. Genetic variation for waterlogging tolerance in cotton. Journal of Cotton Science, 12: 53-61.
- De san celedonio R. 2018. Physiological traits associated with reductions in grain number in wheat and barley under waterlogging. Plant and Soil, 429 (1-2): 469-481.
- Dennis E.S., Doferus R., Ellis M., Rahman M., Wu Y., Hoeren F.U., Grover A., Ismond K.P., Good A.G., Peacock W.J. 2000. Molecular strategies for improving waterlogging tolerance in plants. Journal of Experimental Botany, 51: 89-97.
- Dickin E., Wright D. 2008. The effects of winter waterlogging and summer drought on the growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). European Journal of Agronomy, 28 (3): 234-244.
- Galeshi S., Modarres Sanavy A., Heidarisharifabad Z., Tahmasebi Sarvestani A. 1996. Flooding effects on plant growth and biological nitrogen fixation in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). Journal of Agriculture Science and Natural Research, 7 (4):112-107. (In Persian).
- Ghobadi M.A., Nadian H., Bakhshandeh A.S., Fathi G.H., Ghryyna M.H., Ghobadi M. 2006. Root growth, biological yield and grain yield in wheat genotypes in flooded conditions at different growth stages. Plant and Seed, 22 (4): 525-513. (In Persian).
- Grzesiak M.T., Janowiak F., Szczyrek P., Kaczanowska K., Ostrowska K., Rut G., Hura, T., Rzepka A., Grzesiak S. 2016. Impact of soil compaction stress combined with drought or waterlogging on physiological and biochemical markers in two maize hybrids. Acta Physiologicae Plant Arum, 38: 109 p.

- Herzog M., Striker G.G., Colmer T.D., Pedersen O. 2016. Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat - a review of root and shoot physiology. *Plant, Cell and Environment*, 39: 1068-1086.
- Kafi M., Mahdavi Damghani A.M. 2002. Resistance Mechanisms of Plants to Environmental Stresses. Mashhad University Press, 236 p. (In Persian).
- Meyer W., Reicosky D., Barrs H., Smith R. 1987. Physiological responses of cotton to a single waterlogging at high and low N-levels. *Plant Soil*, 102: 161-170.
- Michael B.J., Kimiharu I., Osamu I. 2009. Evolution and mechanisms of plant tolerance to flooding stress. *Annals of Botany*, 103: 137-142.
- Musgrave M.E., Ding N. 1998. Evaluation wheat cultivars for waterlogging tolerance. *Crop Science*, 38: 90-97.
- Singh R.P., Hodson D.P., Huerta-Espino J., Jin Y., Njau P., Wanyera R., Herrera-Foessel S.A., Ward R.W. 2008. Will stem rust destroy the world's wheat crop? *Advances in Agronomy*, 98: 271-309.
- Siyadat S.A., Madhaj A., Esfahani M. 2013. Cereals. Mashhad University Press, 352 p. (In Persian).
- Sun C., Gao X., Fu J., Zhou J., Wu X., 2015. Metabolic response of maize (*Zea mays L.*) plants to combined drought and salt stress. *Plant Soil*, 388: 99-117.
- Wo X., Tang Y., Li C., McHugh A., Li Z., Wu Ch. 2018. Individual and combined effects of soil waterlogging and compaction on physiological characteristics of wheat in southwestern China. *Field Crops Research*, 215: 163-172.
- Wollmer A.C., Pitann B., Mühlung K.H. 2018. Grain storage protein concentration and composition of winter wheat (*Triticum aestivum L.*) as affected by waterlogging events during stem elongation or ear emergence. *Journal of Cereal Science*, 83: 9-15.