

# Evaluation of Waterlogging Tolerance in Twenty-One Cultivars and Genotypes of Bread Wheat (*Triticum Aestivum* L.) and its Effect on some Physiological Characteristics of Shoot and Root System at the Three-Leaf Stage

S. B. Fazeli<sup>1\*</sup>, M. Meskarbashee<sup>2</sup>, A. Rahnama<sup>3</sup>

1- Ph.D Student, Department of Agronomy & Plant Breeding, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz, Iran

2- Professor, Department of Agronomy & Plant Breeding, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz, Iran

3- Department of Agronomy & Plant Breeding, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz, Iran

**Introduction:** With 215 million hectares, wheat has the largest cultivated area of crop plants in the world and, like other plants, it is an obligate aerobic organism, which means that it needs to absorb oxygen from the environment in order to grow, multiply and complete the life cycle. Annually, waterlogging stress causes damage to the wheat crop due to improper irrigation conditions, poor drainage, lack of field leveling, high groundwater levels, the existence of hard impervious layers, and heavy and sudden rains. Most likely due to climate change, these injuries are increasing. therefore, using tolerant cultivars and genetic modification of bread wheat for better adaptation to waterlogging stress is necessary to respond to the increasing needs of the human population. In order to achieve these goals, it is necessary to understand the factors causing waterlogging stress damages in wheat and to know the mechanisms of tolerance in this plant. The survival of root terminal meristem cells in conditions of waterlogging stress and their ability to grow again after removing the stress is very limited, waterlogging stress leads to the death of primary roots and reduced growth of lateral roots in wheat. However, there is variation among wheat cultivars for these traits. By reducing access to oxygen, root growth and absorption of nutrients, including nitrogen, decrease, and then photosynthesis and carbohydrate availability decrease, which in turn leads to further restriction of root growth.

**Materials and Methods:** To investigate the effect of waterlogging stress on shoot and root dry matter and some physiological characteristics, an outdoor pot experiment in the form of a split plot design, based on randomized complete blocks in 3 replications accomplished. Stress applied at the three-leaf stage and at three control levels (no waterlogging stress), mild stress (48 hours waterlogging stress) and severe stress (120 hours waterlogging stress) as the main factors. Cultivars and genotypes were also included as secondary factors. The water level was maintained about 5 cm above the soil level during the stress period. Cultivation was done outdoors in plastic pots. data analysis was done using SAS software and graphs were drawn using Excel software. comparison between treatments was also based on standard error. after testing different models, the linear regression model was finally used.

**Results and Discussion:** Mild and severe waterlogging stress resulted in a decrease of 14.06 and 38.37 percent of shoot dry matter, respectively, which was significant in all cultivars and genotypes. different cultivars and genotypes showed different responses to waterlogging stress. To better understand the reasons for these differences, among 21 cultivars and genotypes, Mehrgan and Sarang cultivars and ms 93-16 and ms 93-6 genotypes, due to differences in tolerance and yield potential, were selected to study some root traits. Severe waterlogging stress resulted in a 38% decrease in root dry matter and a 29% decrease in root volume compared to the conditions without waterlogging stress, which largely coincided with the decrease in shoot dry matter. based on the susceptibility index at the three-leaf stage, only Aflak cultivar was in the tolerant group, other cultivars and genotypes were divided into semi-tolerant and semi-susceptible groups. According to the regression results, even the short-term waterlogging stress

had led to a decrease in dry matter. the longer the duration of waterlogging stress, in addition to the greater reduction of dry matter, made differences between cultivars and genotypes decreased.

**Conclusion:** In general, cultivars that were able to maintain photosynthetic activities at a higher level during waterlogging stress showed a lower percentage decrease in dry matter. Mehrgan cultivar, despite the severe decrease in dry matter yield in and being in the semi-sensitive group, had significantly higher dry matter yield than other cultivars and genotypes in all treatments.

**Acknowledgement:** The authors are grateful to Agriculture Research Center of Khuzestan for providing seeds, Shahid Chamran University of Ahvaz Research Vice-Chancellor for providing costs, and all the employees of Department of Agronomy & Plant Breeding.

**Keywords:** photosynthesis rate, Root volume, stomatal conductance, susceptibility index

## ارزیابی تحمل تنش غرقابی و اثر آن بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک اندام هوایی و ریشه ۲۱ رقم و ژنوتیپ گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در مرحله سه برگی

سید بشیر فاضلی<sup>۱\*</sup>، موسی مسکرباشی<sup>۲</sup>، افراسیاب راهنما قهفرخی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری زراعت گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

پست الکترونیکی: [sb-fazeli@stu.scu.ac.ir](mailto:sb-fazeli@stu.scu.ac.ir) و [b.fazeli71@gmail.com](mailto:b.fazeli71@gmail.com)

### چکیده

جهت بررسی اثر تنش غرقابی بر عملکرد ماده خشک اندام هوایی و ریشه، و برخی صفات فیزیولوژیک ۲۱ رقم و ژنوتیپ گندم نان آزمایشی گلدانی و در فضای باز به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار، در اهواز و در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا شد. اعمال تنش در مرحله سه برگی و در سه سطح شاهد، تنش ملایم (۴۸ ساعت) و تنش شدید (۱۲۰ ساعت) به عنوان عامل اصلی و ارقام و ژنوتیپ‌ها نیز به عنوان عامل فرعی لحاظ شدند. تنش ملایم و شدید غرقابی به ترتیب منجر به کاهش ۱۴/۰۶ و ۳۸/۳۷ درصدی ماده خشک اندام هوایی شد، که برای همه ارقام و ژنوتیپ‌ها معنی‌دار بود. از بین ۲۱ رقم و ژنوتیپ، ارقام مهرگان و سارنگ و ژنوتیپ‌های ms 93-16 و ms 93-6 به دلیل تفاوت در میزان تحمل و پتانسیل عملکرد، برای مطالعه ریشه انتخاب شدند. ارقامی که در مواجهه با تنش غرقابی، توانستند فعالیت‌های فتوسنتزی را در سطح بالاتری حفظ کنند، درصد کاهش کمتری در ماده خشک را از خود نشان دادند. تنش شدید غرقابی منجر به کاهش ۳۸ درصدی ماده خشک و ۲۹ درصدی حجم ریشه نسبت به شرایط بدون تنش غرقابی شد که تا حدود زیادی با میزان کاهش ماده خشک اندام هوایی منطبق بود. رقم مهرگان با وجود کاهش شدید عملکرد ماده خشک اندام

هوایی در مواجهه با تنش غرقابی و قرارگرفتن در گروه‌های نیمه متحمل و نیمه حساس، در هر سه سطح تنش به طور معنی داری دارای بیشترین عملکرد ماده خشک نسبت به سایر ارقام و ژنوتیپ‌ها بود.

**کلمات کلیدی:** سرعت فتوسنتز، حجم ریشه، هدایت روزنه‌ای، شاخص حساسیت

## مقدمه

گندم با ۲۱۵ میلیون هکتار دارای بیشترین سطح زیر کشت گیاهان زراعی در جهان می‌باشد و همانند سایر گیاهان در دسته موجودات هوازی اجباری قرار دارد، بدین معنی که جهت رشد، تکثیر و تکمیل چرخه زندگی نیاز به جذب اکسیژن از محیط دارد (Pierdomenico *et al*, 2011). پیش‌بینی می‌شود که در اثر پیامدهای تغییرات اقلیمی علاوه بر خشکسالی، شدت و تعداد سیلاب‌ها نیز افزایش یابند و افزایش بارندگی در برخی مناطق تأثیر منفی بر تولید گندم داشته باشد، بنابراین ضرورت اصلاح ژنتیکی گندم نان برای سازگاری بهتر با عوامل تنش‌زا مانند خشکی یا غرقابی برای پاسخ به نیازهای در حال افزایش جمعیت انسان مورد نیاز است (Trnka *et al*, 2014). جهت نیل به این اهداف درک عوامل ایجاد خسارت تنش غرقابی در گندم و شناخت سازوکارهای تحمل در این گیاه ضروری است.

در کشت‌های پاییزه تنش غرقابی عمدتاً در مراحل ابتدایی رشد و در هنگام استقرار (گیاهچه) و پنجه زنی به گندم خسارت وارد می‌سازد، (Musgrave, 1994). تفاوت‌های ژنوتیپی در تحمل تنش غرقابی در گندم گزارش شده است (Herzog *et al.*, 2016)، انجام پژوهش‌هایی جهت تعیین ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل و درک سازوکار این تفاوت‌ها الزامی است.

مالک و همکاران (Malik *et al*, 2002) گیاهچه‌های سه هفته‌ای گندم را بین سه تا ۲۸ روز تحت تنش غرقابی قرار دادند و مشاهده کردند که حتی دوره کوتاه سه روزه تنش غرقابی آسیب‌های ماندگاری را در این گیاه بر جای می‌گذارد، آن‌ها هم‌چنین گزارش کردند تنش غرقابی رشد ریشه‌ها را کاهش می‌دهد و از رشد ریشه‌های اولیه جلوگیری کرده ولی رشد ریشه‌های جانبی و سطحی ادامه می‌یابد.

بقای سلول‌های مریستم انتهایی ریشه در شرایط تنش غرقابی و توانایی رشد مجدد آن‌ها پس از رفع تنش بسیار محدود است، تنش غرقابی منجر به مرگ ریشه‌های اولیه و کاهش رشد ریشه‌های جانبی در گندم می‌شود. با این حال در بین ارقام گندم برای این صفات تنوع وجود دارد. با کاهش دسترسی به اکسیژن رشد ریشه و جذب مواد غذایی از جمله نیتروژن کاهش می‌یابد، و به دنبال آن فتوسنتز و فراهمی کربوهیدرات کاهش می‌یابد که خود منجر به محدودیت بیشتر رشد ریشه می‌شود (Shabala, 2011). بنابراین به نظر می‌رسد، بررسی اثر تنش غرقابی بر ریشه گندم و تفاوت ارقام و ژنوتیپ‌های در این مورد می‌تواند به درک بهتر در شناخت عوامل تحمل این تنش منجر شود.

پارامترهای تبادل گازی برگ برای مطالعه ظرفیت فتوسنتزی گیاهان تحت تنش غرقابی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به جز گیاهان متحمل که دارای سازوکارهای سازگاری هستند و ظرفیت فتوسنتزی خود را بهتر حفظ می‌کنند، شرایط غرقابی

باعث کاهش معنی‌دار ظرفیت تبادل گازی برگ در گیاهان غیر متحمل نظیر گندم، گوجه‌فرنگی، نخود و ماش می‌شود (Sena Gomes and Kozlowski, 1980; Fazeli *et al*, 2022)، به همین دلایل در این پژوهش به مطالعه این صفات پرداخته شد.

## مواد و روش‌ها

آزمایش طی سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در مزرعه آزمایشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت اسپلیت پلات (کرت‌های خرد شده) و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. اعمال تنش در مرحله سه برگی (هنگامی که حداقل در نیمی از بوته‌ها تشکیل لیگول در برگ سوم تکمیل شد) و در سه سطح شاهد (بدون تنش غرقابی)، تنش ملایم (تنش غرقابی به مدت ۴۸ ساعت) و تنش شدید (تنش غرقابی به مدت ۱۲۰ ساعت) به عنوان عامل اصلی و ارقام و ژنوتیپ‌ها به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. سطح آب در طی مدت زمان اعمال تنش حدود ۵ سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک حفظ شد. کشت به صورت گلدانی و در فضای باز درون گلدان‌های پلاستیکی با عمق ۴۰ سانتی‌متر، قطر ۲۲ سانتی‌متر، وزن نهایی حدود ۱۰ کیلوگرم انجام شد، و با محاسبه تراکم ۵۵۰ بوته در متر مربع، ابتدا ۳۰ دانه در هر گلدان کاشته و پس از سبز شدن ۲۱ بوته حفظ شد. از کودهای شیمیایی سولفات پتاسیم (به صورت پایه) و اوره (به صورت سرک) مطابق با نیاز کودی گندم و بر اساس نتایج آزمون خاک به میزان ۰/۵ گرم در هر گلدان استفاده شد. بذور از مرکز تحقیقات کشاورزی اهواز تهیه گردید. خاک گلدان‌ها شامل یک سوم شن، یک سوم خاک زراعی و یک سوم کود دامی پوسیده بود. کاشت در روز ۱۵ آذر و اعمال تنش از ۲۹ دی لغایت ۳ بهمن انجام شد. جهت اندازه‌گیری ماده خشک اندام هوایی دو هفته پس از اتمام تنش غرقابی همه بوته‌ها از هر واحد آزمایشی (گلدان) برداشت و به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Donnelly *et al*, 2018).

برای اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز و میزان هدایت روزنه‌ای به ترتیب از دستگاه LCA-4 (gas analyzer) ساخت کشور انگلستان و دستگاه پرمتر (Ltd, Burwell, Uk Delta-T AP4, Devices) بین ساعات ۹:۳۰ صبح تا ۱۲ ظهر بر روی قسمت‌های میانی پهنک آخرین برگ توسعه یافته (برگ سوم) استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها بر روی دو بوته در هر واحد آزمایشی در زمان‌های مورد نظر پس از اعمال تنش غرقابی انجام شد. اندازه‌گیری شاخص کلروفیل نیز با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502) بر روی پنج نقطه از قسمت‌های میانی پهنک آخرین برگ توسعه یافته، انجام و میانگین مقادیر قرائت شده ثبت شد.

رقم سارنگ به عنوان یک رقم نیمه متحمل و رقم مهرگان به عنوان یک رقم نیمه حساس و هر دو با پتانسیل مطلوب برای کشت در منطقه و ژنوتیپ ms 93-16 به عنوان یک ژنوتیپ نیمه متحمل و ژنوتیپ ms 93-6 به عنوان یک ژنوتیپ نیمه حساس برای مطالعه صفات ریشه انتخاب شدند. پس از برداشت اندام هوایی کل خاک گلدان‌های تحت کشت رقم

سارنگ، رقم مهرگان، ژنوتیپ 93-6 ms و ژنوتیپ 93-16 ms خارج و پس از شستشوی کامل، ریشه‌ها استخراج و حجم آن-ها با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. سپس ماده خشک ریشه‌ها نیز مشابه ماده خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد، مقایسه بین تیمارها نیز بر اساس خطای استاندارد صورت پذیرفت. پس از امتحان مدل‌های مختلف در نهایت از مدل خطی رگرسیون استفاده شد. شاخص حساسیت نیز با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد.

$$SSI=1-(y_s/y_p)/S_i \quad (1)$$

$$S_i=1-(Y_s/Y_p) \quad (2)$$

(3) شاخص حساسیت به تنش = SSI

(4) شدت سختی محیط =  $S_i$

(5) عملکرد ماده خشک هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش =  $y_p$

(6) عملکرد ماده خشک هر ژنوتیپ در محیط تنش =  $y_s$

(7) میانگین عملکرد ماده خشک کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش =  $Y_s$

(8) میانگین عملکرد ماده خشک کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش =  $Y_p$

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Selected physical and chemical properties of soil

هدایت الکتریکی	اسیدیته	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	بافت
EC	pH	N	P	K	texture
(ds/m)		(%)	(ppm)	(ppm)	
2.54	7.5	0.111	17	44	شنی لومی Sandy loam

جدول ۲- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقاتی اهواز طی مدت اجرای آزمایش در سال ۱۳۹۹

Table 2- Meteorological statics of Ahvaz Research Station during the experiment in 2020-2021

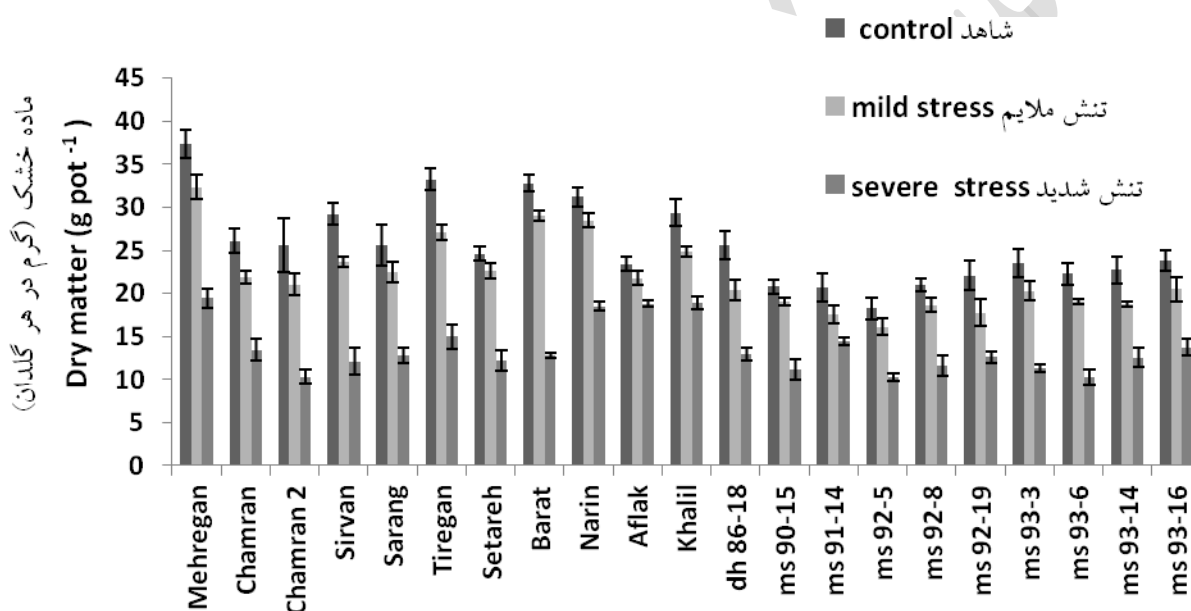
ماه	آذر	دی	بهمن
Month	December	January	February
میانگین حداکثر دمای ماهانه Mean of max monthly temperatures (°C)	20.7	20.3	22.4
میانگین حداقل دمای ماهانه Mean of min monthly temperatures (°C)	11.7	6.2	8.2
بارندگی ماهانه Monthly precipitation (mm)	81.6	6.3	10.6
حداقل رطوبت نسبی Minimum humidity (%)	65.7	47.6	36.1

## نتایج و بحث

### ماده خشک اندام هوایی

برهم کنش تنش و رقم در تمامی صفات معنی‌دار بود (جدول ۳). تنش غرقابی ملایم منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد ماده خشک اندام هوایی در تمامی ارقام و ژنوتیپ‌ها شد، تنش غرقابی شدید نیز باعث کاهش معنی‌دار ماده خشک در همه ارقام و ژنوتیپ‌ها نسبت به شاهد و تنش ملایم شد، ولی این کاهش در ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف به یک میزان نبود. رقم افلاک و ژنوتیپ 93-14 ms کمترین کاهش در ماده خشک را داشتند، ولی عملکرد ماده خشک آن‌ها در شرایط بدون تنش

در مقایسه با سایر ارقام بسیار پایین بود. ارقام و ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش، پس از اعمال تنش غرقابی دارای کاهش عملکرد ماده خشک بیشتری بودند، ولی به نظر می‌رسد این یک نکته منفی برای آن‌ها به حساب نمی‌آید، به عنوان مثال رقم مهرگان با وجود کاهش شدید عملکرد ماده خشک در مواجهه با تنش غرقابی، در همه تیمارها به صورت معنی‌داری دارای عملکرد ماده خشک بیشتری نسبت به سایر ارقام و ژنوتیپ‌ها بود. ارقام سارنگ و نارین در شرایط تنش غرقابی به مدت ۴۸ ساعت دچار کاهش عملکرد ناچیزی شدند (به ترتیب با ۱۲ و ۸ درصد کاهش) و در شرایط بدون تنش هم در مقایسه با سایر ارقام و ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد ماده خشک قابل قبولی بودند (به ترتیب با ۲۵/۶ و ۳۱/۲ گرم ماده خشک در هر گلدان)، ژنوتیپ ms 93-16 نیز شرایط مشابهی داشت. رقم چمران ۲ در کنار ژنوتیپ‌های ms 92-5 و ms 93-6 (با ۱۰/۳ گرم در هر گلدان) دارای کمترین عملکرد ماده خشک در شرایط تنش غرقابی به مدت ۱۲۰ ساعت بودند (شکل ۱).



شکل ۱- اثر تنش غرقابی شدید و ملایم بر عملکرد ماده خشک اندام هوایی ۲۱ رقم و ژنوتیپ گندم نان در مرحله سه برگی.

Figure 1- Effect of severe and mild waterlogging stress on Shoot dry matter in 21 cultivars and genotypes of bread wheat at the three-leaf stage.

کاهش معنی‌دار ماده خشک بر اثر تنش غرقابی در مرحله سه برگی در آزمایشات دیگری نیز مشاهده شده است، از جمله در یک آزمایش گلدانی بر روی دو رقم گندم نان وریناک و چمران، و گندم دوروم یاواروس در اهواز، اعمال تنش غرقابی به مدت ده روز در مرحله سه برگی منجر به کاهش معنی‌دار ماده خشک اندام هوایی شد، پس از رفع تنش نیز گیاهان نتوانستند آسیب‌های ناشی از این تنش را جبران کنند (Ghobadi et al, 2006). مالک و همکاران (Malik et al, 2002) گزارش نمودند، دوره کوتاه سه روزه تنش غرقابی نیز منجر به کاهش معنی‌دار ماده خشک در گیاهچه‌های سه هفته‌ای گندم شد.

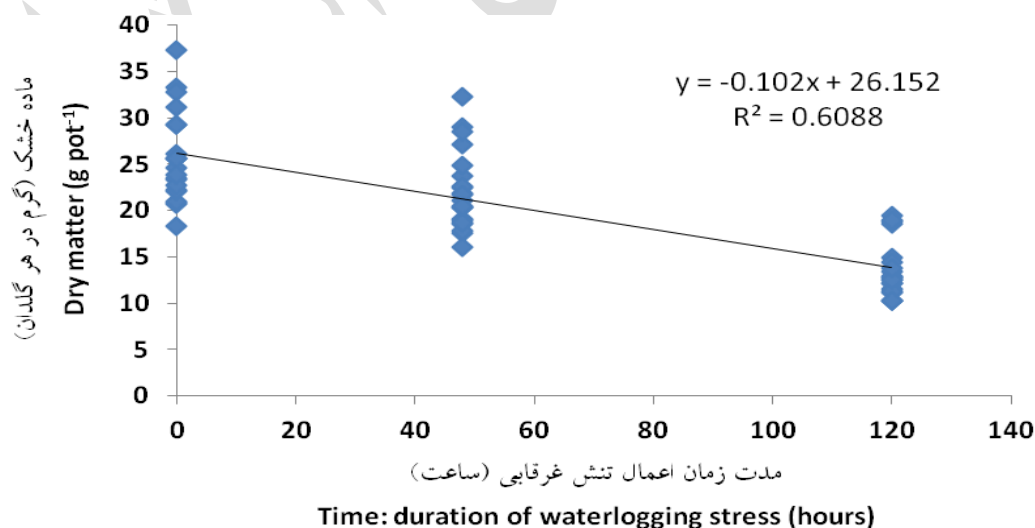
جدول ۳- خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات ۲۱ رقم و ژنوتیپ گندم تحت تنش غرقابی در مرحله سه برگه  
 Table 4- Variance analysis of traits 21 cultivars and genotypes of bread wheat under waterlogging stress at the three-leaf stage

میانگین مربعات Mean square					
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ماده خشک Dry matter	عدد اسپد Spad number	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate
بلوک (تکرار) R	2	0.867 <sup>ns</sup>	3.02 <sup>ns</sup>	1769.1 <sup>ns</sup>	2253.3 <sup>ns</sup>
تنش Stress	2	58.03 <sup>**</sup>	3012.4 <sup>**</sup>	934412 <sup>**</sup>	50141 <sup>**</sup>
خطای تنش (a) E.a	4	0.232	8.89	3320.2	1292.4
رقم Cultivar	20	6.96 <sup>**</sup>	71.12 <sup>**</sup>	4128.9 <sup>**</sup>	4011.8 <sup>**</sup>
تنش×رقم Cultivar×Stress	40	1.01 <sup>**</sup>	24.09 <sup>*</sup>	1719.3 <sup>**</sup>	896.7 <sup>**</sup>
خطای کل (b) E.b	120	0.287	10.98	420.8	349.6
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		11.39	6.09	12.91	14.82

\* و \*\* به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار است و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

### رگرسیون

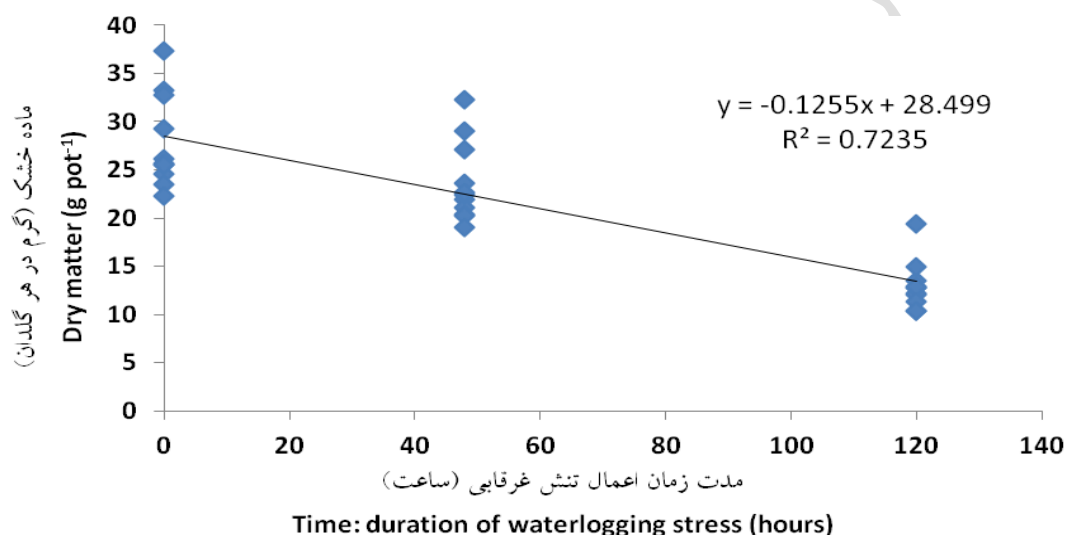
رگرسیون ماده خشک و مدت زمان اعمال تنش به صورت خطی، قابلیت تبیین ۶۰ درصد از تغییرات را داشت. بر اساس نتایج رگرسیون حتی تنش‌های کوتاه مدت غرقابی نیز منجر به کاهش ماده خشک شده بود. هرچه مدت زمان اعمال تنش غرقابی بیشتر بود، علاوه بر کاهش بیشتر ماده خشک، تفاوت ارقام و ژنوتیپ‌ها با یکدیگر کم‌تر شد (شکل ۲).



شکل ۲- رگرسیون عملکرد ماده خشک اندام هوایی ۲۱ رقم و ژنوتیپ گندم نان در برابر تنش غرقابی

Figure 2- Regression of shoot dry matter yield of 21 cultivars and genotypes of bread wheat against waterlogging stress

به دلیل قرار گرفتن اکثر ارقام و ژنوتیپ‌ها پس از اعمال ۱۲۰ ساعت تنش غرقابی در گروه نیمه حساس نمودار رگرسیون جداگانه‌ای برای آن‌ها رسم گردید و مشاهده شد قابلیت تبیین تا ۷۲ درصد افزایش یافت، پس می‌توان گفت واکنش هر گروه شباهت بیشتری با یکدیگر دارند و رسم نمودار رگرسیون جداگانه، مناسب‌تر است. شیب خط نیز از ۰/۱۰۲ به ۰/۱۲۵ افزایش یافت که حاکی از حساسیت بیشتر آن‌ها بود، به عبارت دیگر بیشتر بودن شیب خط در معادله ارقام و ژنوتیپ‌های نیمه حساس نشان‌گر تندتر بودن روند کاهش ماده خشک از شاهد به تنش است، و با توجه به بالاتر بودن  $R^2$  رگرسیون خطی در این گروه توجه پذیرتر است. در این مورد نیز، هرچه مدت زمان اعمال تنش غرقابی بیشتر بود، علاوه بر کاهش بیشتر ماده خشک، تفاوت ارقام و ژنوتیپ‌ها با یکدیگر کم‌تر شد (شکل ۳).



شکل ۳- رگرسیون عملکرد ماده خشک اندام هوایی ۱۱ رقم و ژنوتیپ نیمه حساس گندم نان در برابر تنش غرقابی

Figure 3- Regression of shoot dry matter yield of 11 semi-sensitive cultivars and genotypes of bread wheat against waterlogging stress

### شاخص حساسیت

بر اساس شاخص حساسیت در مرحله سه برگی، هیچ رقمی در گروه حساس قرار نگرفت و فقط رقم افلاک در گروه متحمل جای داشت، سایر ارقام نیز در گروه‌های نیمه متحمل و نیمه حساس تقسیم شدند. شاخص حساسیت محاسبه شده برای ارقام و ژنوتیپ‌ها در مرحله سه برگی بسیار نزدیک به یکدیگر بود (جدول ۳).

جدول ۴- رتبه بندی ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف گندم نسبت به تحمل تنش ملایم و شدید غرقابی در مرحله سه برگی بر اساس شاخص حساسیت.

Table 3- Ranking of different wheat cultivars and genotypes in terms of mild and severe waterlogging stress tolerance in the three-leaf stage based on susceptibility index.

۴۸ ساعت تنش غرقابی (تنش ملایم)	۱۲۰ ساعت تنش غرقابی (تنش شدید)
48 hours of waterlogging stress (mild stress)	120 hours of waterlogging stress (severe stress)
Aflak	متحمل
متحمل	Aflak



Setareh	semi tolerant	نیمه متحمل	ms 9114	semi tolerant	نیمه متحمل	tolerant
ms 9015	semi tolerant	نیمه متحمل	Khalil	semi tolerant	نیمه متحمل	tolerant
Narin	semi tolerant	نیمه متحمل	Narin	semi tolerant	نیمه متحمل	tolerant
ms 928	semi tolerant	نیمه متحمل	ms 9316	semi tolerant	نیمه متحمل	tolerant
Barat	semi tolerant	نیمه متحمل	ms 9219	semi tolerant	نیمه متحمل	tolerant
ms 925	semi tolerant	نیمه متحمل	ms 925	semi tolerant	نیمه متحمل	tolerant
Sarang	semi tolerant	نیمه متحمل	ms 9314	semi tolerant	نیمه متحمل	tolerant
ms 9316	semi tolerant	نیمه متحمل	ms 928	semi tolerant	نیمه متحمل	tolerant
ms 933	semi tolerant	نیمه متحمل	ms 9015	semi tolerant	نیمه متحمل	tolerant
Mehregan	semi tolerant	نیمه متحمل	Sarang	semi	نیمه حساس	susceptible
ms 936	semi susceptible	نیمه حساس	Chamran	semi	نیمه حساس	susceptible
ms 9114	semi susceptible	نیمه حساس	dh 8618	semi	نیمه حساس	susceptible
Khalil	semi susceptible	نیمه حساس	Mehregan	semi	نیمه حساس	susceptible
Chamran	semi susceptible	نیمه حساس	Setareh	semi	نیمه حساس	susceptible
ms 9314	semi susceptible	نیمه حساس	ms 933	semi	نیمه حساس	susceptible
Chamran 2	semi susceptible	نیمه حساس	ms 936	semi	نیمه حساس	susceptible
Tiregan	semi susceptible	نیمه حساس	Tiregan	semi	نیمه حساس	susceptible
Sirvan	semi susceptible	نیمه حساس	Sirvan	semi	نیمه حساس	susceptible
ms 9219	semi susceptible	نیمه حساس	Chamran 2	semi	نیمه حساس	susceptible
dh 8618	semi susceptible	نیمه حساس	Barat	semi	نیمه حساس	susceptible

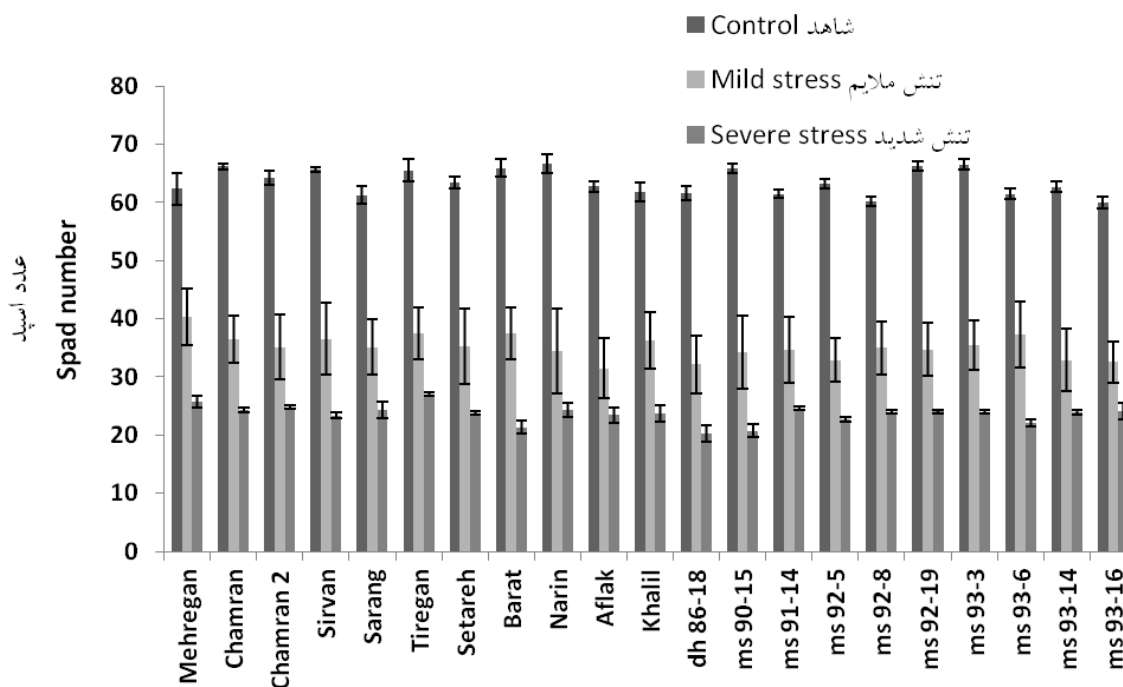
ارقام و ژنوتیپ‌های دارای شاخص حساسیت ۰ تا ۰/۵ متحمل، ۰/۵ تا ۱ نیمه متحمل، ۱ تا ۱/۵ نیمه حساس و ۱/۵ تا ۲

حساس طبقه بندی شدند. به ترتیب از متحمل‌ترین به حساس‌ترین.

Cultivars and genotypes with a susceptibility index of 0 to 0.5 were classified as tolerant, 0.5 to 1 semi-tolerant, 1 to 1.5 semi-susceptible, and 1.5 to 2 susceptible. in order from the most tolerant to the most susceptible.

عدد اسپد (شاخص کلروفیل)

در همه ارقام و ژنوتیپ‌ها تنش غرقابی ملایم منجر به کاهش معنی‌دار عدد اسپد نسبت به شرایط بدون تنش غرقابی شد، تنش غرقابی شدید نیز در تمامی ارقام و ژنوتیپ‌ها منجر به کاهش معنی‌دار عدد اسپد نسبت به شرایط بدون تنش غرقابی و تنش ملایم گردید (شکل ۴).



شکل ۴- اثر تنش غرقابی ملایم و شدید بر عدد اسپد ۲۱ رقم و ژنوتیپ گندم نان در مرحله سه برگی.

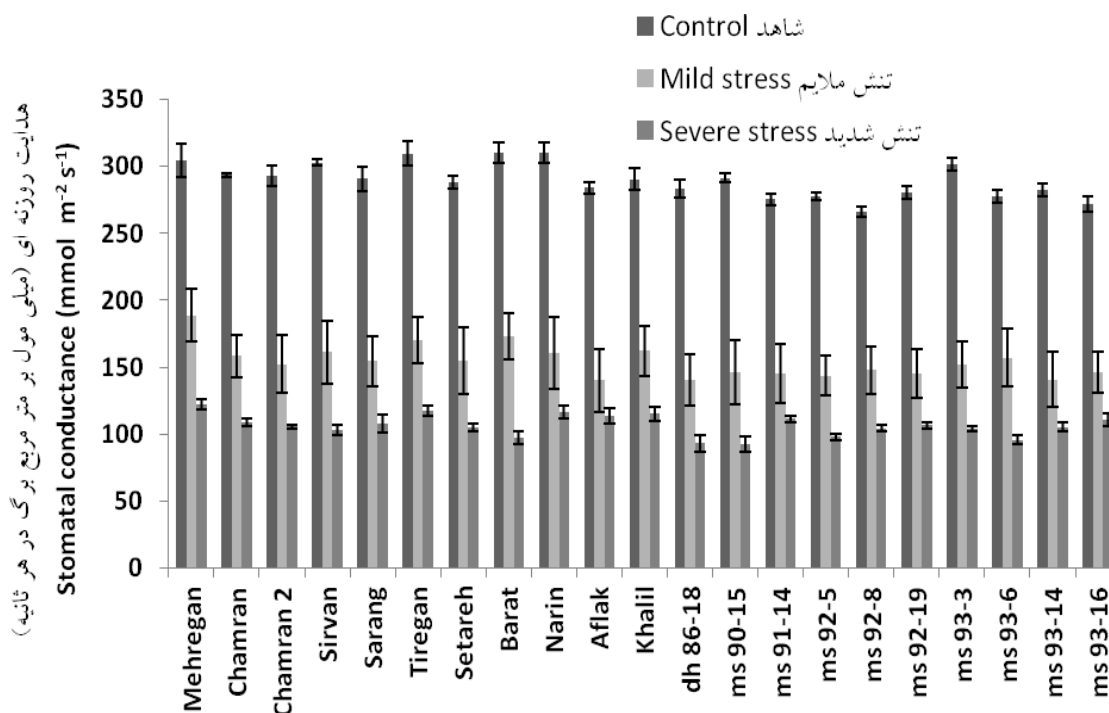
Figure 4- Effect of severe and mild waterlogging stress on SPAD number in 21 cultivars and genotypes of bread wheat at the three-leaf stage.

عدد اسپد نمایان‌گر غلظت کلروفیل گیاه است و در اکثر موارد هرچه این عدد بیشتر باشد سرعت فتوسنتز و در پی آن سرعت تجمع ماده خشک در گیاه بیشتر خواهد بود، در آزمایشات دیگری بر روی گندم اثر مخرب تنش غرقابی بر عدد اسپد و اهمیت ویژه حفظ سطوح بالای عدد اسپد در تعیین میزان تحمل یک رقم نسبت به این تنش گزارش شده است (Li et al, 2011)، این پدیده در سایر گیاهان از جمله ماش نیز مشاهده شده است، تنش غرقابی بر اثر ایجاد گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر منجر به تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی و زردی گیاه می‌شود (Fazeli et al, 2022).

### هدایت روزنه‌ای

در همه ارقام و ژنوتیپ‌ها تنش غرقابی ملایم منجر به کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای نسبت به شرایط بدون تنش غرقابی شد، تنش غرقابی شدید نیز در تمامی ارقام و ژنوتیپ‌ها منجر به کاهش معنی‌دار این صفت نسبت به شرایط بدون تنش

غرقابی و تنش غرقابی ملایم گردید. البته در مورد رقم افلاک یک استثنا وجود داشت و کاهش هدایت روزنه‌ای در اثر تنش شدید غرقابی نسبت به تنش ملایم غرقابی معنی‌دار نبود (شکل ۵).



شکل ۵- اثر تنش غرقابی ملایم و شدید بر هدایت روزنه ای ۲۱ رقم و ژنوتیپ گندم نان در مرحله سه برگی

Figure 5- Effect of severe and mild waterlogging stress on stomatal conductance in 21 cultivars and genotypes of bread wheat at the three-leaf stage.

از آنجا که واکنش صفات عدد اسپد، هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز به تنش غرقابی در ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف بسیار مشابه بود، به نظر می‌رسد این صفات بیشتر تحت تأثیر محیط قرار دارند و اثر عواملی درونی (ژنتیک) کم‌تر از عوامل محیطی (تنش) است. تفاوت بین ارقام و ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش در این صفات کم‌تر از شرایط بدون تنش بود، به عبارت دیگر اختلاف بین ارقام و ژنوتیپ‌ها در مورد این صفات (به ویژه سرعت فتوسنتز) در شرایط بدون تنش بیش‌تر نمایان بود. هم‌چنین می‌توان گفت این صفات ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند.

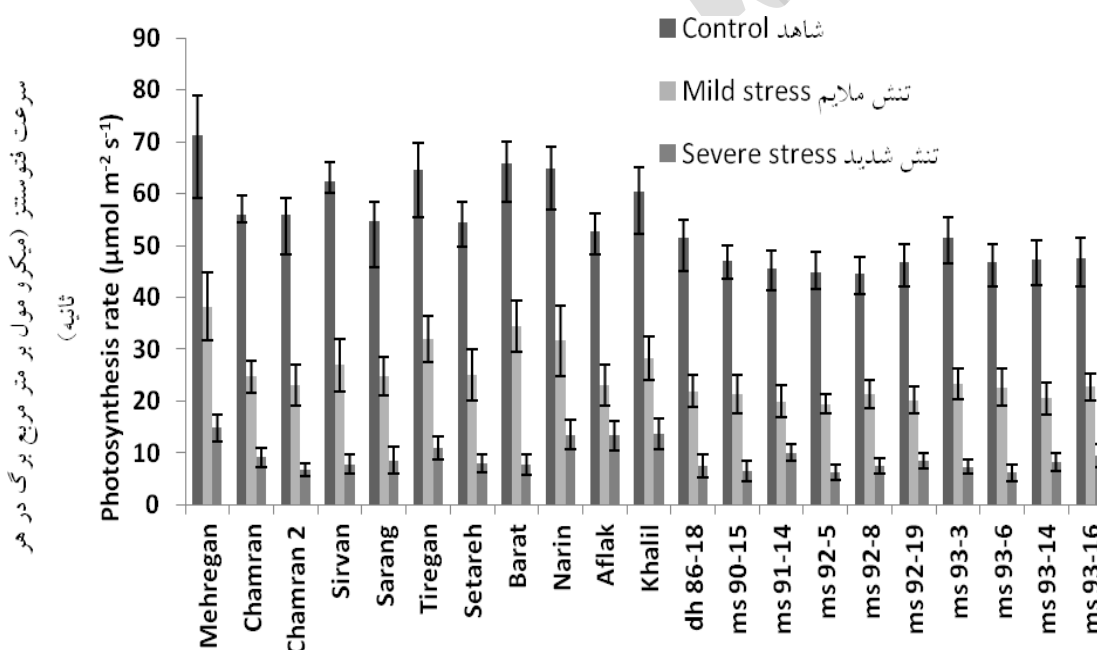
کاهش هدایت روزنه‌ای از طریق کاهش میزان ورود و غلظت دی‌اکسید کربن منجر به کاهش سرعت فتوسنتز می‌شود، زیرا در بیشتر موارد با کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در برگ‌ها میزان فعالیت آنزیم رابیسکو کم‌تر شده و در پی آن سرعت فتوسنتز کاهش می‌یابد (Von Caemmerer and Edmondson, 1986; Sage *et al*, 1988). سرعت فتوسنتز گیاه به میزان فعالیت آنزیم رابیسکو بستگی دارد که به نوبه‌ی خود توسط دو عامل غلظت دی‌اکسید کربن برگ و میزان دریافت نور

تعیین می‌گردد (Sage *et al*, 1990). همان گونه که در مباحث پیشین شرح داده شد، بسته شدن روزنه‌ها جهت کاهش تلفات آب گیاه برای بقا در شرایط تنش غرقابی ضروری به نظر می‌رسد، ولی یکی از اثرات جانبی آن کاهش فتوسنتز می‌باشد، که اجتناب ناپذیر است.

### سرعت فتوسنتز

در همه ارقام و ژنوتیپ‌ها تنش غرقابی ملایم منجر به کاهش معنی‌دار سرعت فتوسنتز نسبت به شرایط بدون تنش غرقابی شد، تنش غرقابی شدید نیز در تمامی ارقام و ژنوتیپ‌ها منجر به کاهش معنی‌دار این صفت نسبت به شرایط بدون تنش غرقابی و تنش غرقابی ملایم گردید (شکل ۶).

در آزمایشات دیگری بر روی گندم و بسیاری از گیاهان غیر مقاوم نسبت به تنش غرقابی، نیز کاهش سرعت فتوسنتز بر اثر این تنش گزارش گردیده، که می‌توان به گیاهان زراعی مهمی همچون گوجه‌فرنگی، ماش و نخود اشاره کرد (Rafiqul Islam *et al*, 2008; Sena Gomes and Kozlowski, 1980; Fazeli *et al*, 2022).



شکل ۶- اثر تنش غرقابی ملایم و شدید بر سرعت فتوسنتز ۲۱ رقم و ژنوتیپ گندم نان در مرحله سه برگی.

Figure 6- Effect of severe and mild waterlogging stress on photosynthesis rate in 21 cultivars and genotypes of bread wheat at the three-leaf stage.

به طور کلی تنش غرقابی منجر به کاهش شدید سرعت فتوسنتز در تمامی ارقام و ژنوتیپ‌ها شد، اختلاف بین تنش غرقابی به مدت ۴۸ ساعت با شرایط بدون تنش نیز بسیار بیشتر از اختلاف بین تنش غرقابی به مدت ۱۲۰ ساعت با تنش غرقابی به مدت ۴۸

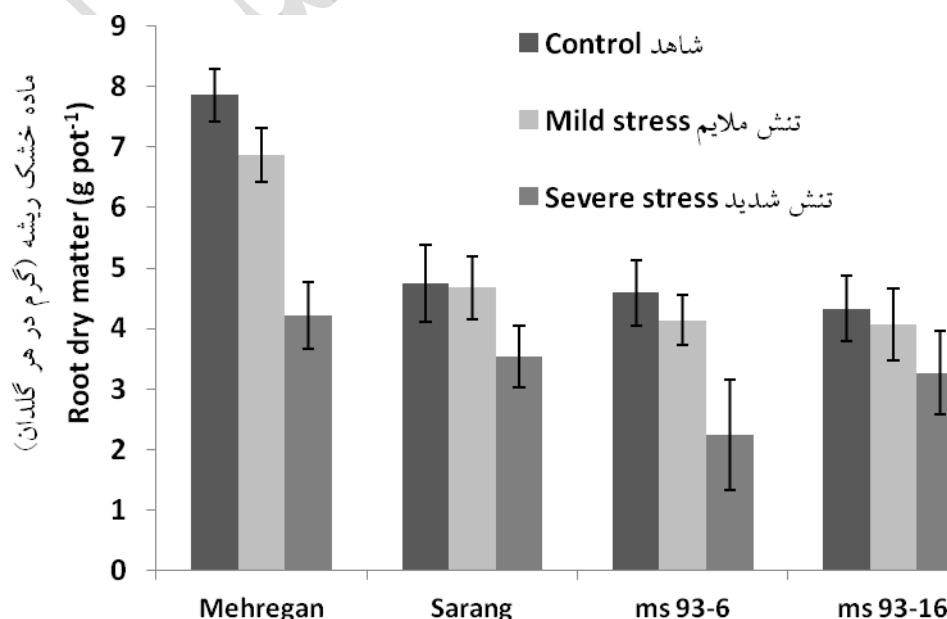
ساعت بود (شکل ۶). بنابراین بر اساس نتایج این آزمایش حتی تنش های کوتاه مدت غرقابی نیز منجر به کاهش شدید

سرعت فتوسنتز در ارقام و ژنوتیپ های مختلف گندم نان می شود.

تنش غرقابی غالباً بر اثر کمبود یا فقدان اکسیژن به گیاه آسیب می زند، به عنوان مثال در آزمایشی ۲۴ رقم گندم نان را با استفاده از روش تزریق گاز نیتروژن به مدت پنج روز (۱۲۰ ساعت) تحت تنش غرقابی قرار دادند، و کاهش ۸۳ درصدی سرعت فتوسنتز و ۴۰ درصدی هدایت روزنه ای را مشاهده نمودند (Tiryakioglu *et al*, 2015). در این روش محیط اطراف ریشه به جای اینکه با هوا که حاوی حدود ۲۱ درصد اکسیژن و ۷۸ درصد نیتروژن است در تماس باشد، با استفاده از ادوات ویژه ای با گاز نیتروژن با خلوص ۹۹/۹۹ درصد احاطه می شود.

### ماده خشک ریشه

برهم کنش تنش و رقم در تمامی صفات مربوط به ریشه نیز معنی دار بود (جدول ۵). تنش غرقابی منجر به کاهش ماده خشک ریشه در همه ارقام و ژنوتیپ ها شد، ولی از نظر میزان و معنی داری این کاهش در سطوح مختلف تنش بین ارقام و ژنوتیپ ها تفاوت های بسیاری وجود داشت. در ژنوتیپ ms 93-16 کاهش ماده خشک ریشه بر اثر تنش غرقابی معنی دار نبود. در رقم سارنگ و ژنوتیپ ms 93-6 فقط تنش غرقابی به مدت ۱۲۰ ساعت منجر به کاهش معنی دار ماده خشک ریشه شد و این کاهش در ژنوتیپ ms 93-6 بسیار شدیدتر بود. در رقم مهرگان تنش ملایم غرقابی منجر به کاهش معنی دار ماده خشک ریشه نسبت به گیاهان شاهد شد، تنش شدید غرقابی نیز منجر به کاهش معنی دار ماده خشک ریشه هم نسبت به گیاهان شاهد و هم نسبت به گیاهان تحت تنش ملایم غرقابی شد (شکل ۷).



شکل ۷- اثر تنش غرقابی ملایم و شدید بر ماده خشک ریشه گندم نان در مرحله سه برگی.

Figure 7- Effect of mild and severe waterlogging stress on root dry matter of bread wheat at the three-leaf stage.

به طور کلی میزان کاهش ماده خشک ریشه بر اثر تنش غرقابی در رقم مهرگان و ژنوتیپ 6-93 ms بسیار شدیدتر از این کاهش در رقم سارنگ و ژنوتیپ 16-93 ms بود، به نظر می‌رسد رقم سارنگ و ژنوتیپ 16-93 ms توانایی بیشتری در حفظ ماده خشک ریشه در مقابل تنش غرقابی دارند، و از این لحاظ متحمل‌ترند. با وجود اینکه هر دو سطح تنش منجر به کاهش معنی‌دار ماده خشک ریشه در رقم مهرگان شد، ولی این رقم در تمامی موارد دارای بیشترین ماده خشک ریشه بود، که در تیمارهای شاهد و تنش غرقابی به مدت ۴۸ ساعت، این برتری به شکل معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۷).

با مقایسه دو صفت ماده خشک اندام هوایی و ماده خشک ریشه می‌توان دریافت که ماده خشک ریشه مرتبط با ماده خشک اندام هوایی است، در واقع هرچه ماده خشک اندام هوایی در یک رقم یا ژنوتیپ بیشتر باشد، ماده خشک ریشه آن نیز بیشتر خواهد بود، و تنش غرقابی منجر به کاهش هر دو می‌شود. احتمالاً هم کاهش ماده خشک اندام هوایی منجر به کاهش ماده خشک ریشه می‌شود و هم بالعکس، کاهش ماده خشک ریشه منجر به کاهش ماده خشک اندام هوایی می‌شود. زیرا ریشه اکسیژن، آب و مواد معدنی (و در برخی موارد هورمون‌ها، پیام‌ها و در مورد گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن، نیتروژن) را در اختیار اندام هوایی قرار می‌دهد و اندام هوایی نیز طیف وسیعی از مواد آلی را در اختیار ریشه قرار می‌دهد. به نظر می‌رسد حداقل در مورد تنش خفیف غرقابی در ارقام و ژنوتیپ‌های حساس‌تر و در هر دو سطح تنش در ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل‌تر، تنش غرقابی اثر کاهشی بیشتری بر ماده خشک اندام هوایی نسبت به ماده خشک ریشه دارد. زیرا در همه این موارد کاهش ماده خشک اندام هوایی معنی‌دار بود ولی در مورد ماده خشک ریشه این‌گونه نبود.

مکانیسم‌های بسیاری برای توضیح نحوه آسیب به ریشه‌های گندم و سایر گیاهان تشریح شده که عمدتاً بر اثرات کاهش اکسیژن استواراند. در شرایط تنش غرقابی بیشترین آسیب به سلول‌های مریستم انتهایی ریشه وارد می‌شود و توانایی رشد مجدد این سلول‌ها پس از رفع تنش نیز بسیار محدود است، تنش غرقابی منجر به مرگ ریشه‌های اولیه و کاهش رشد ریشه‌های جانبی و کاهش نسبت ریشه به اندام هوایی در گندم می‌شود. با این حال در بین ارقام گندم برای این صفات تنوع وجود دارد. با کاهش اکسیژن رشد ریشه کاهش یافته و جذب مواد غذایی از جمله نیتروژن کاهش می‌یابد، و به دنبال آن فتوسنتز و فراهمی کربوهیدرات کاهش می‌یابد که خود منجر به محدودیت بیشتر رشد ریشه می‌شود (Shabala, 2011).

در پژوهشی بر روی گندم نان مشاهده شد تنش غرقابی بلند مدت و مزمن (ایجاد و رفع تنش غرقابی به طور پی در پی که عمدتاً در مناطقی از شمال اروپا به ویژه انگلستان در مراحل ابتدایی رشد به گندم خسارت وارد می‌سازد و در سالیان اخیر این پدیده به دلیل اثرات گرمایش جهانی شدت بیشتری به خود گرفته است)، علاوه بر ماده خشک، نحوه توزیع ریشه در عمق خاک یا به عبارتی معماری سیستم ریشه را نیز تغییر می‌دهد، و منجر به سطحی‌تر شدن ریشه‌های گندم می‌شود. این

ویژگی باعث تحمل بهتر تنش غرقابی می‌شود ولی منجر به کاهش تحمل خشکی می‌شود، که غالباً در اواخر بهار و اوایل تابستان در این مناطق رخ می‌دهد و با پرشدن دانه گندم هم‌زمان است. در تغییر معماری ریشه بر اثر تنش غرقابی نیز بین ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف گندم تفاوت‌هایی وجود دارد و در برخی از آن‌ها میزان این تغییرات شدیدتر است (Dickin and Wright, 2008).

موسگراو و دینگ (Musgrave and Ding, 1998) در آزمایشی به صورت کشت مزرعه‌ای، کشت گلدانی در گلخانه و کشت گلدانی در فضای باز هشت رقم گندم نان را مراحل مختلف رشدی تحت تنش غرقابی قرار دادند و مشاهده کردند که تنش غرقابی حتی در دو هفته پس از کاشت نیز در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه شد، البته بین ارقام در میزان این کاهش تفاوت وجود داشت. آن‌ها گزارش کردند که عملکرد دانه ۸۴ درصد با ماده خشک ریشه و ۹۴ درصد با مجموع محتوای فسفر، آهن و منگنز ریشه همبستگی دارد، و نتیجه گرفتند که ماده خشک ریشه می‌تواند از صفات مهم در انتخاب ارقام متحمل نسبت به تنش غرقابی باشد.

بنابراین صفت ماده خشک ریشه در تعیین میزان تحمل یک رقم یا ژنوتیپ گندم نسبت به تنش غرقابی نقشی اساسی ایفا می‌نماید، و می‌توان از این صفت هم جهت بالابردن تحمل این گندم نسبت به این تنش در پژوهش‌های به‌نژادی و هم در تعیین میزان و علت تحمل بهتر ارقام گندم بهره برد.

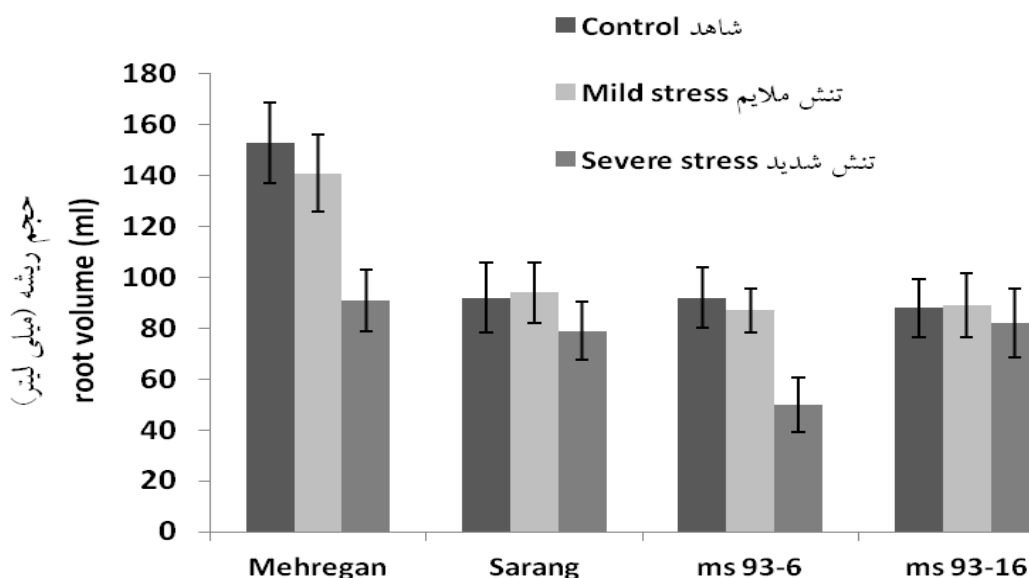
جدول ۵- خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات ۴ رقم گندم تحت تنش غرقابی در مرحله سه برگی

Table 5- Variance analysis of traits of 4 wheat cultivars under waterlogging stress at the three-leaf stage

میانگین مربعات Mean square				
نسبت ماده خشک ریشه به اندام هوایی Root/shoot ratio	حجم ریشه Root volume	ماده خشک ریشه Root dry matter	درجه آزادی d.f	منابع تغییرات S.O.V
0.301 <sup>ns</sup>	142.11 <sup>ns</sup>	0.491 <sup>ns</sup>	2	بلوک (تکرار) R
1.02 <sup>*</sup>	409.27 <sup>*</sup>	12.19 <sup>**</sup>	2	تنش Stress
0.172	98.36	0.155	4	خطای تنش (a) E.a
0.098 <sup>*</sup>	2749.53 <sup>**</sup>	2.01 <sup>*</sup>	3	رقم Cultivar
0.107 <sup>*</sup>	981.67 <sup>*</sup>	1.78 <sup>*</sup>	6	تنش×رقم Cultivar×Stress
0.016	189.66	0.287	18	خطای کل (b) E.b
13.87	19.38	7.60		ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)

\* و \*\* به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار است و ns معنی‌دار نمی‌باشد.

در رقم سارنگ و ژنوتیپ ms 93-16 هیچ تفاوت معنی‌داری در حجم ریشه رخ نداد، ولی در رقم مهرگان و ژنوتیپ ms 93-6 تنش شدید غرقابی منجر به کاهش معنی‌دار حجم ریشه نسبت به تنش خفیف غرقابی و شرایط بدون تنش شد (شکل ۸).



شکل ۸- اثر تنش غرقابی ملایم و شدید بر حجم ریشه گندم نان در مرحله سه برگگی.

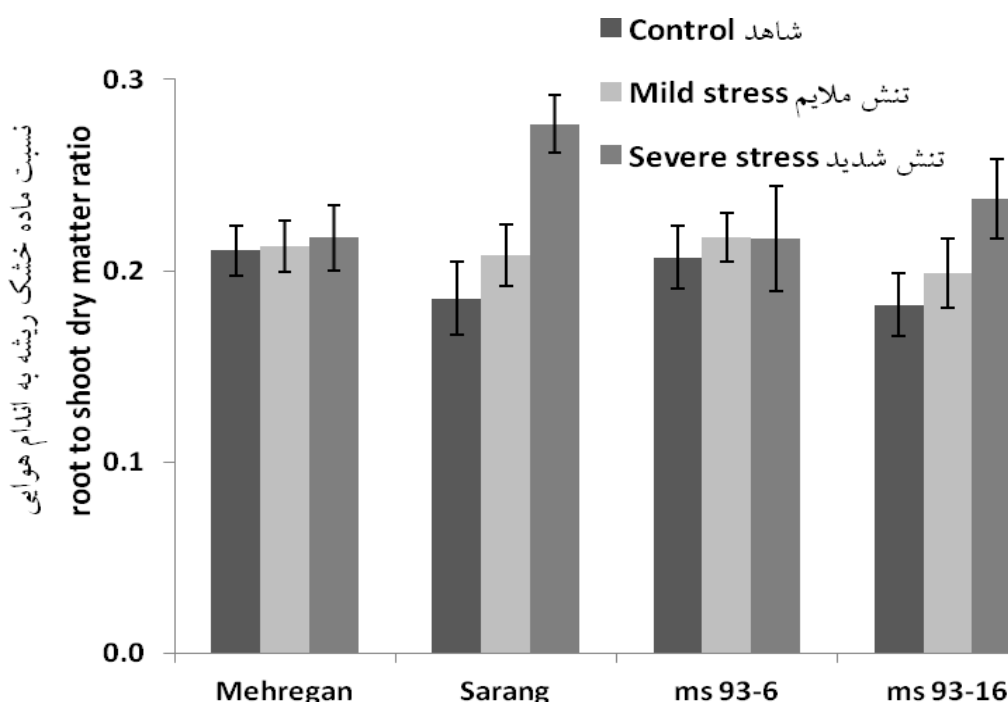
Figure 8- Effect of mild and severe waterlogging stress on root volume of bread wheat at the three-leaf stage.

واضح است که حجم ریشه تابع ماده خشک ریشه است، یعنی هرچه ماده خشک ریشه بیشتر باشد حجم ریشه بیشتر خواهد بود و با کاهش ماده خشک ریشه بر اثر تنش غرقابی حجم ریشه نیز کاهش خواهد یافت. البته به نظر می‌رسد این کاهش در حجم ریشه نسبت به ماده خشک ریشه اندکی کمتر باشد، و به احتمال زیاد صفت ماده خشک ریشه شاخص بهتری برای ارزیابی میزان خسارت وارد شده بر اثر تنش به ریشه‌ها است.

#### نسبت ماده خشک ریشه به ماده خشک اندام هوایی

در رقم مهرگان و ژنوتیپ ms 93-6 هیچ تفاوت معنی‌داری در نسبت ماده خشک ریشه به ماده خشک اندام هوایی رخ نداد، این بدان معناست که کاهش ماده خشک ریشه و ماده خشک اندام هوایی بر اثر تنش غرقابی در این رقم و ژنوتیپ کاملاً منطبق بود و به صورت یکسانی رخ داد. ولی در رقم سارنگ و ژنوتیپ ms 93-16، تنش شدید غرقابی منجر به افزایش معنی‌دار نسبت ماده خشک ریشه به ماده خشک اندام هوایی در مقایسه با شرایط بدون تنش شد. این افزایش در رقم سارنگ نسبت به تنش خفیف غرقابی نیز معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن این افزایش به این مفهوم است که در این موارد، شیب کاهش ماده خشک اندام هوایی بر اثر تنش غرقابی بیش از شیب کاهش ماده خشک ریشه است (شکل ۹).





شکل ۹- اثر تنش غرقابی ملایم و شدید بر نسبت ماده خشک ریشه به اندام هوایی گندم نان در مرحله سه برگی.

Figure 9- Effect of mild and severe waterlogging stress on root to shoot dry matter ratio of bread wheat at the three-leaf stage.

در ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل‌تر و با اعمال تنش غرقابی طولانی مدت‌تر کاهش ماده خشک ریشه کم‌تر از کاهش ماده خشک اندام هوایی خواهد بود، به زبان ساده‌تر در این موارد کاهش ماده خشک اندام هوایی نسبت به ریشه شدیدتر خواهد بود. به طور مثال کاهش ماده خشک اندام هوایی در رقم سارنگ تحت تنش غرقابی به مدت ۱۲۰ ساعت بسیار بیش‌تر از کاهش ماده خشک ریشه بود، و نسبت ماده خشک ریشه به اندام هوایی به صورت معنی‌داری بیش از شرایط بدون تنش و تنش غرقابی به مدت ۴۸ ساعت بود، در مورد ژنوتیپ MS 93-16 نیز تا حدودی این مور صدق می‌کرد. این رقم و ژنوتیپ نسبت به تنش غرقابی متحمل‌تر بودند. بنابراین می‌توان چنین استنباط کرد که ارقام متحمل در شرایط تنش غرقابی طولانی مدت‌تر توانایی بهتری در حفظ ماده خشک ریشه‌های خود دارند.

در مورد صفت نسبت ریشه به اندام هوایی در ارقام مختلف گندم تنوع زیادی یافت می‌شود و تنش غرقابی ممکن است باعث کاهش یا افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی گندم شود، که عمدتاً به میزان بقای سلول‌های مریستم انتهایی ریشه در شرایط تنش غرقابی و توانایی رشد مجدد این سلول‌ها پس از رفع تنش دارد (Shabala, 2011).

نتیجه‌گیری

تنش غرقابی منجر به کاهش معنی‌دار عدد اسپد هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز و در پی آن ماده خشک ریشه و اندام هوایی شد و این کاهش در ارقام و ژنوتیپ‌های حساس‌تر، شدیدتر بود. در ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل‌تر و با اعمال تنش غرقابی طولانی مدت‌تر کاهش ماده خشک ریشه کم‌تر از کاهش ماده خشک اندام هوایی بود. رقم مهرگان با وجود کاهش شدید ماده خشک اندام هوایی در مواجهه با تنش غرقابی به دلیل پتانسیل عملکرد بالا، در هر سه سطح تنش دارای بیشترین ماده خشک نسبت به سایر ارقام و ژنوتیپ‌ها بود، بنابراین جهت کشت در مناطق مستعد تنش غرقابی مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

### سپاسگزاران

بدین وسیله از مرکز تحقیقات کشاورزی اهواز بابت در اختیار قرار دادن بذور، از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به جهت تأمین هزینه‌های آزمایش و همچنین تمامی کارکنان گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی تشکر و قدردانی می‌گردد.

### References

1. 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. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.07.010>
2. Donnelly, D. M., Dorea, J. R. R., Yang, H., & Combs, D. K. 2018. Technical note: Comparison of dry matter measurements from handheld near-infrared units with oven drying at 60°C for 48 hours and other on-farm methods. *Journal of Dairy Science*. 101(11): 9971-9977. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14027>
3. Fazeli, S. B., Rahnama, A. & Hassibi, P. 2022. Effect of waterlogging stress on yield and some physiological characteristics of two mungbean cultivars under Ahvaz climatic conditions. *Plant productions*, 45(1): 95-108. <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.30538.1805>
4. Ghobadi, M. E., Nadian, H. Bakhshandeh, A., Fathi, G. and Ghobadi, M. 2006. Investigating root growth, biological and grain yield in wheat genotypes under waterlogging stress in different stages of growth. *Seed and Plant Journal*. 22(4): 513-27. (In Persian)
5. 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. <https://doi.org/10.1111/pce.12676>
6. Li, C., Jiang, D., Wollenweber, B., Li, Y., Dai, T. & Cao, W. 2011. Waterlogging pretreatment during vegetative growth improves tolerance to waterlogging after anthesis in wheat. *Plant Science*. 180 (5): 672-678. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.01.009>

7. Malik, A. I., Colmer, T. D., Lambers, H., Setter, T. L. & Schortemeyer, M. 2002. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. *New Phytologist*. 153 (2): 225-236. <http://dx.doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00318.x>
8. Musgrave, M. E. & Ding, N. 1998. Evaluating Wheat Cultivars for Waterlogging Tolerance. *Crop Science*. 38 (1): 90- 97. <https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800010016x>
9. Musgrave, M .E. 1994. Waterlogging effects on yield and photosynthesis in eight winter wheat cultivars. *Crop Science*. 34: 1314-1318. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0039-9>
10. Pierdomenico, P., William, A., Laurentius, A. & Voesenek, C. J. 2011. Plants and flooding stress. *New phytologist*. 190: 269-273. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03702.x>
11. Rafiqul Islam, M., Abdul Hamid, M., Abdul Karim, M., Moynul Haque, Q., Abdul Khaliq, J. & Uddin, A. 2008. Gas exchanges and yield responses of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) genotypes differing in flooding tolerance. *Acta Physiologiae Plantarum*. 30: 690-707. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-008-0168-0>
12. Sage, R. F., Sharkey, T. D. & Seemann, J. R. 1988. The in vivo response of the ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activation state and the pool sizes of photosynthetic metabolites to elevated CO<sub>2</sub> in (*Phaseolus vulgaris* L.). *Planta*. 174: 407-416. <https://doi.org/10.1007/BF00959528>
13. Sage, R. F., Sharkey, T. D. & Seemann, J. R. 1990. Regulation of ribulose- 1,5-bisphosphate carboxylase activity in responses light intensity and CO<sub>2</sub> in the C<sub>3</sub> annuals (*Chenopodium album* L.) and (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Physiology*. 94: 1735-1742. <https://doi.org/10.1104%2Fpp.94.4.1735>
14. Sena Gomes, A. R. & Kozlowski, T. T. 1980. Growth responses and adaptations of *Fraxinus pennsylvanica* seedlings to flooding. *Plant Physiology*. 66: 267-271. <https://doi.org/10.1104%2Fpp.66.2.267>
15. Shabala, S. 2011. Physiological and cellular aspects of phytotoxicity tolerance in plants: the role of membrane transporters and implications for crop breeding for

waterlogging tolerance. *New Phytologist*. 190: 289-298.  
<https://doi.org/10.1111/J.1469-8137.2010.03575.X>

19. Trnka, M., Rotter, R. P., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K. C., Olesen, J. E., Zalud, Z. & Semenov, M. A. 2014. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change*. 4: 637-643. <https://doi.org/10.1038/nclimate2242>
20. Tiryakioglu, M., Karanlik, S. & Arslan, M. 2015. Response of bread-wheat seedlings to waterlogging stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 39: 807-816.
21. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tbtkgagriculture/issue/11685/139488>
22. Von Caemmerer, S. & Edmondson, D. L. 1986. The relationship between steady-state gas exchange, in vivo RuBP2 carboxylase activity and some carbon reduction cycle intermediates in *Raphanus sativus*. *Australian Journal of Plant Physiology*. 13: 669-688.
23. <https://doi.org/10.1071/pp9860669>