

Investigation of changes in photosynthetic pigments and yield of rice genotypes in different irrigation methods

Masoumeh Habibi¹, Pooria Mazloom², Morteza Nasiri^{3*}, Ali Eftekhari⁴,
Morteza Moballeghi⁵

¹ PhD Student, Department of Agronomy, Chalus Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran, Email: habibi.m88@gmail.com

² Assistant Professor, Department of Agronomy, Chalus Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran,

Email: p_mazloom@yahoo.com

³ Assistant professor, Rice Research of Institute, Deputy of Mazandaran. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Amol. Iran, Email: m_nasiri1@yahoo.com

⁴ Assistant Professor, Department of Agronomy, Chalus Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran,

Email: alieftekhari@gmail.com

⁵ Assistant Professor, Department of Agronomy, Chalus Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran,

Email: mor.moballeghi@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received: 2021/06/11

Revised: 2021/08/13

Accepted: 2021/09/27

Keywords:

Chlorophyll

Dehydration

Harvest index

ABSTRACT

Background and objectives: Due to Iran's location in the arid and semi-arid region of the world, the possibility of drought is high. Therefore, implementing low irrigation technologies to increase the efficiency of limited water resources is a scientific solution to reduce water consumption. On the other hand, rice receives two to three times more water than other crops and drought in rice is the most important factor limiting production worldwide, which indicates the need for optimal use of water resources to determine the real water needs of rice plants. Therefore, development and introduction of drought tolerant genotypes, using new irrigation methods, is a useful method to improve water productivity and efficiency in the face of drought and water scarcity. The aim of this experiment was to evaluate rice genotypes by measuring traits related to photosynthetic pigments and yield in order to select drought tolerant genotypes.

Materials and methods: The present study, evaluated physiological and qualitative traits of grain with 10 rice genotypes that were known as tolerant genotypes in seedling stage based on the measurement of traits and mechanisms of drought tolerance split-plot arrangement using randomized complete blocks design with three replications in 2016, in Research Institute Rice (Mazandaran), Iran. Experimental research includes three different irrigation regime (submerged surface (A0), alternate wetting and drying method up to 10 (A1) and 20 (A2) cm below the soil surface) and 10 genotypes rice that respectively are located in the main plots and sub-plots. The studied traits include physiological characteristics such as chlorophyll a, b and carotenoids, harvest index, biological yield and grain yield. Photosynthetic pigments were measured by spectrophotometer and its concentration was performed by Welburn and Lichtenthaler (1994) method.

Results: The results showed that the amounts of photosynthetic pigments in low irrigation treatments increased compared to flood irrigation. So that the ratio of chlorophyll a to b and carotenoid content in in AWD20 increased by 5 and 20% compared to flood irrigation treatment, respectively. Genotypes also showed a very significant effect on traits related to photosynthetic pigments and quantitative and qualitative grain yield. The AR8 genotype

had the highest chlorophyll a and a / b (average of eight and two $\mu\text{g}.\text{ml}$, respectively). The highest chlorophyll b and a+b were also observed in Vandana genotype with an average of 5.2 and 13 $\mu\text{g}.\text{ml}$. The highest grain and biological yields were related to Shiroodi and IR74428-153-2-3, respectively. The interaction of the treatments showed that Neda genotype among other genotypes during AWD20 water stress has a greater advantage over the studied traits.

Conclusion: The results of this study indicated the preservation of quantitative and qualitative traits of genotypes under drought stress. Also, genotypes showed different reactions to the studied traits. Neda, Vandana, AR8 and IR74428-153-2-3 genotypes were able to increase photosynthetic capacity and quantitative and qualitative grain yield by applying low irrigation treatments.

Cite this article: Habibi, M., Mazloom, P., Nasiri, M., Eftekhari, A., Moballeghi, M. 2022. Investigation of changes in photosynthetic pigments and yield of rice genotypes in different irrigation methods. *Crop Production Journal*, 15 (3), 41-60.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19028.2419

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



بررسی تغییرات رنگی‌های فتوسنتزی و عملکرد ژنوتیپ‌های برنج در روش‌های مختلف آبیاری

معصومه حبیبی^۱، پوریا مظلوم^۲، مرتضی نصیری^{۳*}، علی افتخاری^۴، مرتضی مبلغی^۵

^۱ دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران، رایانامه: habibi.m88@gmail.com

^۲ استادیار، گروه زراعت، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران، رایانامه: p_mazloom@yahoo.com

^۳ استادیار، موسسه تحقیقات برنج، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران، رایانامه: m_nasiri1@yahoo.com

^۴ استادیار، گروه زراعت، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران، رایانامه: alieftekhari@gmail.com

^۵ استادیار، گروه زراعت، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران، رایانامه: mor.moballegghi@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	سابقه و هدف: با توجه به فرارگیری ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان، احتمال وقوع خشکسالی در آن فراوان است. بنابراین، اجرای فناوری‌های کم‌آبیاری به منظور بهره‌وری بیش‌تر منابع محدود آب راهکاری علمی در جهت کاهش مصرف آب به‌شمار می‌رود. از طرفی، برنج نسبت به دیگر گیاهان زراعی دو تا سه برابر آب بیش‌تری دریافت می‌کند و خشکی در برنج مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید در سطح جهان است که لزوم استفاده بهینه از منابع آبی جهت تعیین نیاز آبی واقعی گیاه برنج را مشخص می‌سازد. بنابراین، توسعه و معرفی ارقام متحمل به خشکی، با کاربرد روش‌های جدید آبیاری، یک روش مفید برای بهبود بهره‌وری و راندمان مصرف آب در مقابله با خشکی و کم‌آبی می‌باشد. این آزمایش با هدف ارزیابی تأثیر روش‌های مختلف آبیاری بر تغییرات رنگی‌های فتوسنتزی و صفات کمی ژنوتیپ‌های برنج به‌منظور انتخاب ژنوتیپ متحمل به تنش خشکی انجام شده است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۵	
واژه‌های کلیدی:	
شاخص برداشت	
کلروفیل	
کم‌آبیاری	
	مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با فاکتور اصلی روش‌های آبیاری در سه سطح غرقاب (FI)، روش تر و خشک شدن تناوبی تا ۱۰ (AWD10) و ۲۰ (AWD20) سانتی‌متری زیر سطح خاک و فاکتور فرعی با ۱۰ ژنوتیپ انتخابی از آزمایش گلخانه‌ای و با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات برنج کشور - معاونت مازندران (آمل) اجرا گردید. صفات مورد مطالعه شامل ویژگی‌های فیزیولوژیکی مانند کلروفیل a، b و کاروتنوئید، شاخص برداشت، عملکرد زیستی و عملکرد دانه می‌باشد. اندازه‌گیری رنگی‌های فتوسنتزی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و غلظت آن با استفاده از روش لیچنتالر و ولبورن (۱۹۹۴) انجام شد.
	یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقادیر رنگی‌های فتوسنتزی در تیمارهای کم‌آبیاری تفاوتی با آبیاری غرقابی نداشتند. به‌گونه‌ای که محتوای کاروتنوئید در AWD10 از بیش‌ترین مقدار برخوردار بود. ژنوتیپ‌ها نیز اثر بسیار معنی‌داری بر صفات مرتبط با رنگی‌های فتوسنتزی و عملکرد گیاه نشان دادند. ژنوتیپ AR8 بیش‌ترین مقدار کلروفیل a و b را به‌خود اختصاص داد (میانگین به‌ترتیب هشت و دو میکروگرم بر میلی‌لیتر). بیش‌ترین کلروفیل b و a + b نیز با میانگین ۵/۲ و ۱۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر در ژنوتیپ ندانا

مشاهده شد. بالاترین عملکرد زیستی و دانه نیز به ترتیب مربوط به شیروودی و IR74428-153-2-2 بود. برهم‌کنش تیمارها نشان داد که ژنوتیپ ندا در بین سایر ژنوتیپ‌ها از نظر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکردی در زمان تنش آبی AWD20 از مزیت بیش‌تری برخوردار می‌باشد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان کرد که ژنوتیپ ندا، وندانا، (AR8) IR79907-B-1 و 493-3-3-1 و (53 or 8605) IR74428-153-2-3 گزینه‌های مناسبی در شرایط تنش خشکی با ادامه پژوهش‌های تکمیلی می‌باشند.

استناد: حبیبی، م.، مظلوم، پ.، نصیری، م.، افتخاری، ع.، مبلغی، م. (۱۴۰۱). بررسی تغییرات رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد ژنوتیپ‌های برنج در روش‌های مختلف آبیاری. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۵ (۳)، ۶۰-۴۱.

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19028.2419



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

برنج یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است که نزدیک به ۹۰ تا ۹۱ درصد آن در آسیا تولید و مصرف می‌گردد (۱، ۲). در آسیا ۵۰ درصد آبی که در کشاورزی فاریاب مصرف می‌شود، به کشت برنج اختصاص دارد (۳). سیستم کشت غرقابی در برنج حدود ۱۹۰۰ تا ۵۰۰۰ لیتر آب برای تولید یک کیلوگرم دانه نیاز دارد و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵، حدود ۱۰ درصد از سطح فعلی کشت برنج، با روش آبیاری غرقابی تأمین گردد (۴). از این‌رو، مصرف آب در تولید برنج، جهت پایداری در تولید و امنیت غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا محیط زیست برنج به‌عنوان یک سیستم کشت غرقاب شناخته شده که مقدار زیادی از آب‌های سطحی را مصرف می‌کند (۵، ۶).

با وجود کاهش عملکرد برنج در صورت کاهش آب خاک نسبت به حالت اشباع (۷)، گیاه به‌وسیله سازوکارهای مختلفی از جمله تغییر در مورفولوژی، الگوی نمو و واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، می‌تواند به انواع تنش‌ها از جمله خشکی، سازگار گردد (۸). از این‌رو، شناسایی شاخص‌های متحمل به خشکی کاربرد زیادی در کشاورزی دارد (۹). در صورت شناسایی عوامل فیزیولوژیکی تحمل به تنش خشکی، به‌زادگران می‌تواند از این صفات به‌عنوان شاخص‌گزینی در جمعیت‌های بزرگ استفاده کنند (۱۰).

تنش خشکی می‌تواند منجر به تغییر در محتوای کلروفیل و در نتیجه تغییر در کارایی فتوسنتز گردد که به‌تبع آن عملکرد گیاه را متأثر می‌سازد (۶). از سوی دیگر گزارش‌ها نشان داده‌اند که اثر تنش خشکی بر کلروفیل بسته به شرایط محیطی و ژنوتیپ گیاه، متفاوت می‌باشد (۱۱، ۱۲). مالیک و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که گیاهانی که در معرض تنش خشکی

متوسط قرار گیرند، با کاهش سطح برگ و افزایش در غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ مواجه می‌شوند (۵). کیفیت دانه، در برنج ویژگی پیچیده‌ای است که متأثر از ژنوتیپ گیاه و محیطی که در آن کشت می‌شود، می‌باشد (۹). در این راستا نقش مدیریتی پیرامون گیاه از جمله رژیم‌های مختلف آبیاری در طی پر شدن دانه بسیار مهم است (۱۳، ۱۴).

تلاش‌های زیادی برای کاهش مصرف آب در شالیزارهای ایران انجام گرفته و گزارش‌های بسیاری درباره تأثیر کم‌آبیاری در کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری آب منتشر شده است. پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که رژیم تر و خشک شدن تناوبی (AWD)^۱ می‌تواند ۳۵ درصد مصرف آب آبیاری را کاهش دهد (۱۵) و بهره‌وری آب را بهبود بخشد (۱۶). همچنین، از طریق افزایش پنجه‌های تولیدی (۱۷)، تغییر زاویه برگ (۱۸)، رشد بیش‌تر ریشه، انتقال دوباره کربوهیدرات‌های غیر ساختاری (۱۹) اصلاح فعالیت ریشه و یا اندام هوایی و تغییر سیگنالینگ هورمون‌های گیاهی ریشه به شاخه منجر به حفظ یا افزایش عملکرد گیاه گردد. افزون بر این، از نظر زیست‌محیطی کاربرد رژیم AWD می‌تواند انتشار متان در شالیزار را کاهش دهد (۱۷). دجامان و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که مدیریت آبیاری به شیوه AWD می‌تواند در برنج عملکردی قابل مقایسه و در برخی موارد بهتر از مزارع غرقاب مداوم تولید نماید (۱۳). در بررسی اثر آبیاری تر و خشک شدن تناوبی خاک بر رشد و عملکرد برنج نشان داده شد که محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و عملکرد دانه در رژیم AWD بیش‌تر از سیستم غرقابی می‌باشد (۲۰). بنابراین، این نویسندگان استفاده از آبیاری تر و خشک شدن تناوبی را به‌دلیل افزایش رشد و عملکرد برنج از سویی و

1. Alternate wetting and drying

حفظ پایداری صفات کمی طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر، در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران-آمل با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۲۹/۸ متری از سطح آزاد آب در سال زراعی ۱۳۹۷ اجرا گردید. وضعیت هواشناسی در طول دوره رشد گیاه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

افزایش بهره‌وری آب در مقایسه با غرقاب مداوم از سوی دیگر به‌عنوان سیستم برتر معرفی کردند. بر همین اساس، با تغییر شیوه آبیاری از غرقابی به تناوبی می‌توان بدون کاهش عملکرد و یا با درصد قابل قبولی از کاهش عملکرد کمی و کیفی، در مصرف آب صرفه‌جویی نمود و بازده کاربرد آب را به مقدار قابل توجهی افزایش داد (۱۰). از آنجایی که فناوری‌های کم‌آبیاری، به‌منظور بهره‌وری بیش‌تر از منابع محدود آب، راهکاری علمی در جهت کاهش مصرف آب به‌شمار می‌رود، پژوهش حاضر با هدف بررسی روش آبیاری تر و خشک کردن متناوب در ژنوتیپ‌های برنج متحمل به کم‌آبی به‌منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ با

جدول ۱- ویژگی‌های هواشناسی دوره رشد گیاه در سال ۱۳۹۷.

Table 1- Meteorological characteristics of the plant growth period in 2018

ماه Month	دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature(°C)		رطوبت (درصد) Humidity(%)		کل ساعات آفتابی Sunny hours	بارندگی (میلی‌متر) precipitation (mm)
	کم‌ترین Min	بیش‌ترین Max	کم‌ترین Min	بیش‌ترین Max		
فروردین (March)	10.3	18.6	63	94	140.2	44.5
اردیبهشت (April)	16	24.2	61	93	149	52.2
خرداد (May)	20.4	28	63	93	228	3.5
تیر (June)	21.8	31.5	61	94	232.4	6
مرداد (July)	23.2	34	56	93	269	12
شهریور (August)	22.5	32.7	63	90	262.6	38.5
کل (Total)	114.2	169.2	367	557	1281	156.3
میانگین (Average)	19	28.2	61	93	213.5	26

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از اجرای آزمایش.

Table 2 - Physical and chemical properties of soil

یافت Texture	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	آهک (درصد) T.N.V (%)	پتاسیم (درصد) K(ppm)	فسفر (درصد) P(ppm)	نیترژن (درصد) N(%)	ماده آلی (درصد) OM(%)	کربن آلی (درصد) O.C(%)	اشباع خاک (درصد) SP(%)	اکسید و احیا (میلی‌ولت) Eh(mv)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC(dsm ⁻¹)	اسیدیته pH
سیلتی-لوم Silty-Loam	34	40	26	29	224	8.2	0.1	4.3	2.5	68	-174	0.9	6.6

جدول ۳- منشأ ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش.

Table 3 - Characteristics of genotypes used in the experiment

ژنوتیپ (Genotype)	نام یا کد رقم (Genotype code)	منشأ (Source)	ویژگی‌های زراعی و فنولوژیکی (Agronomical and phenological traits)
V ₁	IR74428-153-2-3 (53 or 8605)	مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (فیلیپین) IRR1	نسبتاً زودرس، کمیت و کیفیت مطلوب، طول دوره رشد ۱۲۵ روز، متحمل به بلاست و کرم ساقه‌خوار Relatively early maturing, suitable quantity and quality, Total growth duration (125 days), tolerance to blast and stem borer.
V ₂	IR75482-149-1-1 (55 or 8611)	مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (فیلیپین) IRR1	نسبتاً زودرس، کمیت و کیفیت مطلوب، طول دوره رشد ۱۲۵ روز، متحمل به بلاست و کرم ساقه‌خوار Relatively early maturing, suitable quantity and quality, Total growth duration (125 days), tolerance to blast and stem borer.
V ₃	IR70416-53-2-2 (56 or 8616)	مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (فیلیپین) IRR1	نسبتاً زودرس، کمیت و کیفیت مطلوب، طول دوره رشد ۱۲۵ روز، متحمل به بلاست و کرم ساقه‌خوار Relatively early maturing, suitable quantity and quality, Total growth duration (125 days), tolerance to blast and stem borer.
V ₄	IR79907-B-493-3- 3-1 (AR8)	مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (فیلیپین) IRR1	هوایی، متحمل به خشکی، طول دوره رشد ۱۴۰ روز، مقاوم به بلاست و نسبتاً حساس به کرم ساقه‌خوار Aerobic, drought tolerant, Total growth duration (140 days), resistant to blast and relatively sensitive to stem borer
V ₅	G28	مؤسسه تحقیقات برنج ایران. استان فارس IRRII (Fars- Prov.)	عملکرد پنج تن در هکتار، طول دوره رشد ۱۴۰ روز، نسبتاً حساس به بلاست و کرم ساقه‌خوار Yield of 5t/ha, total growth duration (140 days) , relatively sensitive to blast and stem borer
V ₆	فیروزان (Firozan)	مؤسسه تحقیقات برنج ایران. استان فارس IRRII (Isfahan- Prov.)	عملکرد شش تن در هکتار، نسبتاً حساس به بلاست و کرم ساقه‌خوار Yield of 6t/ha, relatively sensitive to blast and stem borer
V ₇	وندانا (Vandana)	مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (فیلیپین) IRR1	رقم شاخص متحمل به خشکی، عملکرد بالا، طول دوره رشد ۱۴۰ روز Index drought tolerant variety, high yield, Total growth duration (140 days)
V ₈	شیروودی (Shiroodi)	مؤسسه تحقیقات برنج ایران. استان مازندران IRRII (Mazandaran- Prov.)	حاصل تلاقی رقم بی‌نام و دیلمانی، کیفیت مطلوب، کمیت بالا، متحمل به بلاست و کرم ساقه‌خوار hybridation of Beynam and Dilmani cultivars, suitable quality, high quantity, tolerance to blast and stem borer.
V ₉	کشوری (Keshvari)	مؤسسه تحقیقات برنج ایران. استان مازندران IRRII (Mazandaran- Prov.)	زودرس، کیفیت و کمیت مطلوب، طول دوره رشد ۱۲۵ روز، مقاوم به بلاست و متحمل به کرم ساقه‌خوار Early maturing, suitable quality and quantity, Total growth duration (125 days), resistant to blast and tolerance to stem borer
V ₁₀	ندا (Neda)	مؤسسه تحقیقات برنج ایران. استان مازندران IRRII (Mazandaran- Prov.)	اصلاح شده ایران، تلاقی سنگ طارم و آمل ۳، عملکرد بالا، کیفیت متوسط، طول دوره رشد ۱۴۰ روز، مقاوم به بلاست و متحمل به کرم ساقه‌خوار Improved in Iran, hybridation of Sangtarem and Amol 3 cultivars, high yield, average quality, Total growth duration (140 days), resistant to blast and tolerance to stem borer

سانتی متری زیر سطح خاک به ترتیب ۸۰۳۹/۷، ۶۳۰۵ و ۶۵۵۱/۷ متر مکعب بود. سایر مدیریت‌های مزرعه بر اساس دستورالعمل فنی تولید برای همه تیمارها به صورت ثابت اعمال گردید (۲۲). میزان مصرف کود اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم برای همه تیمارها به صورت یکسان و به ترتیب به مقدار ۲۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شد. تمامی کود سوپر فسفات تریپل همراه با ۵۰ درصد کود اوره و سولفات پتاسیم به صورت پایه، ۲۵ درصد کود اوره ۲۰ روز بعد از نشاء و ۲۵ درصد همراه با ۵۰ درصد سولفات پتاسیم ۴۰ روز بعد از نشاءکاری استفاده شد. برای مبارزه با آفت کرم ساقه‌خوار برنج از حشره‌کش گرانول دیازینون در دو مرحله استفاده شد.

برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی مانند کلروفیل a، b و کاروتنوئید در مرحله گلدهی اندازه‌گیری شدند. عملکرد دانه نیز در مرحله رسیدگی کامل تعیین شد. محاسبه غلظت کلروفیل و کاروتنوئید با استفاده از روش لیچنتتالر و ولبورن (۱۹۹۴) انجام شد (۲۳). در این روش ۰/۱ گرم از بافت برگ، با استن ۸۰ درصد به تدریج حل گردید تا کلروفیل وارد محلول استن شود و در نهایت حجم محلول، با استن ۸۰ درصد به ۲/۵ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰ دور سانتریفیوژ شده و سپس جذب نوری محلول رویی در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل 20 Genesystem) تعیین شد (۲۴). پس از ثبت داده‌های اولیه، مقدار کلروفیل و کاروتنوئید هر نمونه طبق رابطه‌های ارائه شده محاسبه گردید.

رابطه ۱: $Chl\ a = 16.72 (A_{665.2}) - 9.16 (A_{652.4})$

رابطه ۲: $Chl\ b = 34.09 (A_{652.4}) - 15.28 (A_{665.2})$

رابطه ۳:

$Carotenoid = 1000 A_{470} - (1.6 C_a - 104.96 C_b)/221$

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اصلی روش آبیاری در سه سطح شامل غرقابی (FI)، آبیاری تر و خشک شدن متناوب (AWD) به ترتیب تا ۱۰ و ۲۰ سانتی متری زیر سطح خاک (AWD10 و AWD20) و عامل فرعی ژنوتیپ برنج در ۱۰ سطح بود که ویژگی‌های ژنوتیپ‌ها در جدول ۳ آمده است. لازم به ذکر است که ژنوتیپ‌های مورد بررسی از میان ۵۶ ژنوتیپ داخلی و خارجی بر اساس تعیین مکانیسم‌های متحمل به خشکی در پژوهش‌های گلخانه‌ای انتخاب شدند (۲۱).

برای اجرای آزمایش، ابتدا بذرهاى مورد نظر جوانه‌دار شده و سپس در تاریخ ۱۰ فروردین در مزرعه بذرپاشی و بعد از اینکه نشاءها به مرحله سه تا چهار برگ رسیده، تعداد دو گیاهچه در هر کپه با فاصله ۲۵×۲۵ سانتی متر، در تاریخ ۱۵ اردیبهشت به مزرعه اصلی بر اساس نقشه اجرای طرح منتقل گردیدند. جهت اجرای روش آبیاری تناوبی تر و خشک شدن تعداد سه لوله (سیلندر) یو پی وی سی^۱ به ترتیب با قطر و طول ۱۵ و ۴۰ سانتی متر، در هر ۶۰ متر مربع خاک تعبیه شد. به طوری که ۳۰ سانتی متر در داخل خاک و ۱۰ سانتی متر بالای سطح خاک قرار داشت. با توجه به دو تیمار آبیاری تر و خشک شدن تناوبی، وقتی که کاهش عمق آب به ۱۰ و ۲۰ سانتی متری زیر سطح خاک رسید، آبیاری مجدد تا پنج سانتی متری بالای سطح خاک انجام می‌شد. برای تیمار آبیاری غرقابی، آب در تمام طول دوره رشد به صورت غرقاب و تا پنج سانتی متری بالای سطح خاک نگه داشته شد. در هر بار آبیاری میزان آب بر اساس دبی آب ورودی (لیتر در ثانیه) و ثبت زمان آبیاری اندازه‌گیری شد. مقدار آب مصرفی برای سه تیمار غرقابی، تر و خشک شدن تناوبی تا ۱۰ و ۲۰

1. Unplasticised Poly Vinyl Chloride (UPVC)

فقد معنی‌داری آماری بود. اما با توجه به افزایش هر دو کلروفیل a و b در دو تیمار غرقابی و AWD20، مجموع رنگی‌های فتوسنتزی نیز در دو تیمار مذکور از مقدار بیش‌تری (میانگین ۱۱/۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در مقایسه با AWD10 (میانگین ۱۰/۸ میکروگرم بر میلی‌لیتر) برخوردار شد (جدول ۵). مجموع دو کلروفیل a و b نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری، به ترتیب ۷۰ و ۵۰ درصد، با کلروفیل a و b نشان داد (جدول ۷).

بر اساس جدول ۵، بیش‌ترین نسبت کلروفیل a به b با میانگین ۱/۸ میکروگرم بر میلی‌لیتر، بدون تفاوت معنی‌دار آماری در AWD20 و تیمار غرقابی مشاهده گردید. در حالی که نسبت دو کلروفیل کلروفیل a و b در AWD10، ۱۶ درصد در مقایسه با دو تیمار بیان شده کاهش یافت. این نتایج با توجه به افزایش بیش‌تر کلروفیل b در مقایسه با کلروفیل a در تیمار تر و خشک شدن تناوبی تا ۲۰ سانتی‌متری زیر سطح خاک منطقی به‌نظر می‌رسد. چرا که تیمار مذکور مقدار کلروفیل b را بیش از a افزایش داد. نتایج همبستگی صفات نیز حکایت از ارتباط مثبت و معنی‌دار a/b با کلروفیل a داشت (جدول ۷). مطابق با نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین محتوای کاروتنوئید گیاه مربوط به آبیاری تر و خشک شدن تناوبی تا ۱۰ سانتی‌متری زیر سطح خاک با میانگین دو میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. آبیاری غرقابی و AWD20 بدون اختلاف معنی‌دار و با اندکی کاهش، نسبت به AWD10 (میانگین ۱/۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در مرتبه بعد قرار داشتند (جدول ۵).

تجزیه و تحلیل داده‌ها، پس از نمونه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای لازم، با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم شکل‌ها نیز توسط نرم‌افزار اکسل صورت گرفت.

نتایج و بحث

رنگی‌های فتوسنتزی: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، روش‌های مختلف آبیاری بر محتوای کلروفیل b و نسبت دو کلروفیل a و b در سطح احتمال آماری یک درصد و بر محتوای کاروتنوئید، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. ژنوتیپ‌های مورد بررسی و برهم‌کنش تیمارها نیز بر تمامی صفات مرتبط با رنگی‌های فتوسنتزی دارای معنی‌داری آماری ($p < 0.01$) بودند (جدول ۴). مطابق با جدول مقایسه میانگین، رژیم‌های مختلف آبیاری بر کلروفیل a اثر معنی‌دار آماری نشان ندادند. بیش‌ترین مقدار کلروفیل a با میانگین هفت میکروگرم بر میلی‌لیتر در آبیاری غرقابی و AWD20 مشاهده شد. در حالی که تیمار تر و خشک شدن تناوبی تا ۱۰ سانتی‌متری زیر سطح خاک، دارای کلروفیل a با میانگین ۶/۸ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. همچنین، تیمار غرقابی و آبیاری مجدد تا کاهش رطوبت در ۲۰ سانتی‌متری زیر سطح خاک، بیش‌ترین محتوای کلروفیل b را تولید کردند (میانگین ۴/۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر). تیمار AWD10 با اندکی اختلاف، میانگین چهار میکروگرم بر میلی‌لیتر را برای کلروفیل b نشان داد. اگرچه مجموع دو کلروفیل a و b در تمامی سطوح آبیاری

جدول ۴- میانگین مربعات اثر رژیم‌های آبیاری بر صفات مرتبط با فتوسنتز ژنوتیپ‌های برنج.

Table 4 - Mean squares effect of irrigation regimes on photosynthetic traits of rice genotypes.

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی (d.f)	کلروفیل a (Chlo a)	کلروفیل b (Chlo b)	مجموع کلروفیل (a+b)	نسبت کلروفیل (a/b)	کاروتنوئید (Cart)	عملکرد دانه (S.Y)	عملکرد زیستی (B.Y)	شاخص برداشت (H.I)
بلوک (B)	2	9.4*	2**	45.5**	0.1 ^{ns}	0.09 ^{ns}	1006630 ^{ns}	607 ^{ns}	230.6**
آبیاری (Irr)	2	0.2 ^{ns}	3**	5.7 ^{ns}	0.7**	0.2*	7660.2 ^{ns}	2696.2 ^{ns}	119.6*
خطای a (Error a)	4	5.4	0.8	8	0.3	0.02	316956.9	3240	15
ژنوتیپ (Var)	9	9**	2.5**	16.2**	0.6**	1.3**	11174359.7**	2577.5 ^{ns}	361.5**
آبیاری*ژنوتیپ (Irr*Var)	18	8.6**	2.4**	11.2**	0.7**	0.4**	1054310.5 ^{ns}	1356.8 ^{ns}	15.9 ^{ns}
خطای b (Error b)	18	4.6	2	6	0.3	0.1	1394884.4	2096	63.5
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	23	13.8	13.4	25.4	13	22.5	22.3	12

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are meaningless and significant at the five and one percent levels, respectively. (B: Block, Irr: Irrigation, Var: Variety, C.V: Coefficient of Variation, Chlo a and b: Chlorophyll a, and b, Cart: Carotenoids, S.Y: Seed Yield, B.Y: Biological Yield, H.I: Harvest Index)

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده رژیم‌های مختلف آبیاری بر صفات مورد مطالعه.

Table 5 - Average comparison effect of different irrigation regimes on the studied traits.

رژیم‌های آبیاری	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (Kg.ha ⁻¹)(S.Y)	عملکرد زیستی (گرم در بوته) (g.plant ⁻¹)(B.Y)	شاخص برداشت (درصد) (%)(H.I)	کلروفیل a (میکروگرم در میلی‌لیتر) (µg.ml ⁻¹)(Chlo a)	کلروفیل b (میکروگرم در میلی‌لیتر) (µg.ml ⁻¹)(Chlo b)	مجموع کلروفیل (میکروگرم در میلی‌لیتر) (µg.ml ⁻¹)(a+b)	نسبت کلروفیل (میکروگرم در میلی‌لیتر) (µg.ml ⁻¹)(a/b)	کاروتنوئید (میکروگرم بر میلی‌لیتر) (µg.ml ⁻¹)(Cart)
آبیاری غرقاب Flooding Irrigation تر و خشک شدن تناوبی تا ۱۰ سانتی‌متری زیر خاک (AWD10)	4947.5 ^{ab}	205.2 ^a	33.7 ^b	7 ^a	4.5 ^a	11.5 ^a	1.5 ^b	1.9 ^b
تر و خشک شدن تناوبی تا ۲۰ سانتی‌متری زیر خاک (AWD20)	4567.8 ^b	208.8 ^a	32 ^b	6.8 ^a	4 ^b	10.8 ^a	1.8 ^a	2 ^a
تر و خشک شدن تناوبی تا ۲۰ سانتی‌متری زیر خاک (AWD20)	5005.7 ^a	190.4 ^a	36.3 ^a	7 ^a	4.5 ^a	11.4 ^a	1.6 ^{ab}	1.9 ^b

اعداد در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند در یک گروه آماری قرار دارند.

The numbers in each column that have at least one letter in common are in a statistical group. (Chlo a and b: Chlorophyll a, and b, Cart: Carotenoids, S.Y: Seed Yield, B.Y: Biological Yield, H.I: Harvest Index)

IR75482-149-1-1 (لاین کیفی ارسالی از ایری) با میانگین حدود هشت و ۴/۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. ژنوتیپ‌های فیروزان (رقم استان اصفهان)،

مطابق با مقایسه میانگین اثر ساده ژنوتیپ‌ها، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کلروفیل a به ترتیب مربوط به AR8 (لاین هوای ارسالی از ایری) و

گردید. مطابق با نتایج مقایسه میانگین، ژنوتیپ ندا، بیش‌ترین مقدار کاروتنوئید را با میانگین ۲/۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر به خود اختصاص داد. کم‌ترین مقدار با ۴۸ درصد کاهش نسبت به ندا مربوط به ژنوتیپ IR70416-53-2-2 بود. دو ژنوتیپ شیروودی و فیروزان نیز با IR70416-53-2-2 اختلاف معنی‌دار آماری نداشتند (جدول ۶). به نظر می‌رسد که افزایش کلروفیل a و b ضرورت وجود کاروتنوئید را کاهش داده و در ژنوتیپ‌هایی با مقادیر کم‌تر کلروفیل a و b (ژنوتیپ ندا) احتمالاً به دلیل کمک به افزایش ظرفیت فتوستنتزی، محتوای کاروتنوئید افزایش داشته است. در تأیید نتایج می‌توان به همبستگی منفی و معنی‌دار محتوای کاروتنوئید با رنگیزه a اشاره کرد (جدول ۷). مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها (شکل ۱) بر محتوای کلروفیل a نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر در سه رژیم آبیاری مربوط به ژنوتیپ‌های متفاوتی بود. به طوری که مقدار کلروفیل a از ۹/۵ تا ۳/۶ میکروگرم بر میلی‌لیتر تغییر نشان داد. ژنوتیپ IR70416-53-2-2 در آبیاری غرقابی با میانگین ۹/۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر بیش‌ترین مقدار کلروفیل a و ژنوتیپ ندا با میانگین ۳/۶ میکروگرم بر میلی‌لیتر در آبیاری تناوبی تر و خشک شدن تا ۱۰ سانتی‌متری زیر سطح خاک کم‌ترین مقدار را شامل شدند. در تیمارهای AWD10 و AWD20 بیش‌ترین مقدار کلروفیل a با میانگین نه میکروگرم بر میلی‌لیتر، به ترتیب مربوط به AR8 و فیروزان بود. براساس شکل ۲، بیش‌ترین مقدار کلروفیل b، میانگین شش میکروگرم بر میلی‌لیتر، در سطح آبیاری AWD20 و در ژنوتیپ ندا مشاهده گردید. در حالی که بیش‌ترین مقدار در سطح آبیاری غرقابی و AWD10 بدون اختلاف معنی‌دار به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های وندانا و شیروودی، میانگین ۵/۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر، بود. کم‌ترین مقدار کلروفیل b، نیز با میانگین سه

IR70416-53-2-2 (لاین کیفی ارسالی از ایری)، G28 (رقم استان فارس)، وندانا (لاین بین‌المللی مقاوم به خشکی)، شیروودی (رقم استان مازندران)، IR74428-153-2-3 (لاین کیفی ارسالی از ایری) و کشوری (رقم استان مازندران) با AR8 در سطح آماری مشابهی مشاهده شدند. بنابراین، احتمالاً تمامی ژنوتیپ‌ها، به جز IR75482-149-1-1 از نظر تولید کلروفیل a دارای کارایی قابل قبولی باشند. بیش‌ترین مقدار کلروفیل b با میانگین ۵/۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر در ژنوتیپ وندانا مشاهده شد. دو ژنوتیپ شیروودی و ندا نیز فاقد اختلاف معنی‌دار با وندانا بودند. کم‌ترین محتوای کلروفیل b، اختصاص به ژنوتیپ IR75482-149-1-1 با حدود ۲۹ درصد کاهش نسبت به وندانا داشت. همچنین، ژنوتیپ‌های کشوری، فیروزان، G28، AR8 و IR74428-153-2-3 با IR75482-149-1-1 در سطح آماری مشترکی قرارداشتند. براساس نتایج، ممکن است افزایش هر یک از رنگیزه‌ها ضرورت وجود رنگیزه دیگر را کاهش داده باشد (جدول ۶).

بر اساس جدول ۶، بیش‌ترین مجموع دو کلروفیل a و b، متعلق به وندانا با میانگین ۱۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود که نسبت به ژنوتیپ IR75482-149-1-1 در حدود ۶۱ درصد افزایش داشت. ژنوتیپ‌های کشوری، IR70416-53-2-2، AR8، فیروزان و شیروودی از نظر مقدار کل رنگیزه‌های فتوستنتزی با وندانا در گروه آماری مشابهی قرار گرفتند. دو ژنوتیپ AR8 و فیروزان با میانگین دو میکروگرم بر میلی‌لیتر دارای بیش‌ترین نسبت کلروفیل a به b را دارا بودند. همچنین، ژنوتیپ‌های G28، وندانا، IR74428-153-2-3 و IR70416-53-2-2 اختلاف معنی‌دار آماری با AR8 و فیروزان نداشتند. کم‌ترین مقدار با میانگین ۱/۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر نیز بدون معنی‌داری آماری در دو ژنوتیپ ندا و IR75482-149-1-1 مشاهده

میکروگرم بر میلی لیتر، در زمانی که تیمار غرقابی استفاده گردید، در ژنوتیپ IR75482-149-1-1، در آبیاری مجدد با کاهش رطوبت تا ۱۰ سانتی متری زیر سطح خاک در ژنوتیپ‌های IR75482-149-1-1 و وندانا و در سطح AWD20 در ژنوتیپ AR8 مشاهده گردید.

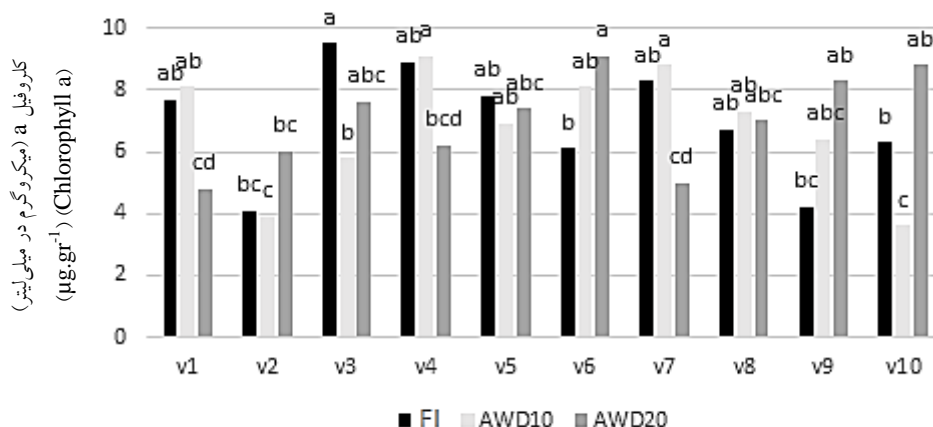
جدول ۶- مقایسه میانگین اثر ساده ژنوتیپ بر صفات مورد مطالعه.

Table 6- Average comparison effect of genotype on the studied traits.

	کلروفیل a (میکروگرم در میلی لیتر) Chlo a ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)	کلروفیل b (میکروگرم در میلی لیتر) Chlo b ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)	کلروفیل a+b (میکروگرم در میلی لیتر) a+b ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)	نسب a به b (میکروگرم در میلی لیتر) a/b ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)	کاروتنوئید (میکروگرم در میلی لیتر) Cart ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) S.Y (Kg.ha^{-1})	عملکرد زیستی (گرم در بوته) B.Y (gr.plant^{-1})	شاخص برداشت (درصد) H.I (%)
V ₁	6.9 ^{ab}	4 ^{de}	10 ^c	1.8 ^{ab}	2 ^c	4936 ^{bc}	202 ^a	43.3 ^a
V ₂	4.7 ^c	3.7 ^e	8 ^d	1.2 ^c	2.2 ^b	5490 ^{abc}	193 ^{ab}	40.7 ^{ab}
V ₃	7.6 ^a	4.4 ^{bcd}	11.7 ^{ab}	1.7 ^{abc}	1.4 ^e	5446.7 ^{abc}	207 ^{ab}	36.3 ^{bc}
V ₄	8 ^a	4 ^{de}	11.8 ^{ab}	2 ^a	1.7 ^{cd}	3605 ^e	234.2 ^a	26.5 ^{ef}
V ₅	7.4 ^{ab}	4 ^{de}	11 ^{bc}	1.8 ^{ab}	2 ^c	2791 ^e	184 ^{ab}	24.5 ^f
V ₆	7.8 ^a	4 ^{de}	11.6 ^{abc}	1.9 ^{ab}	1.5 ^{de}	3767.2 ^{de}	188.8 ^{ab}	29 ^{def}
V ₇	7.4 ^{ab}	5.2 ^a	12.9 ^a	1.8 ^{ab}	2.4 ^b	5526.7 ^{abc}	223 ^{ab}	36.2 ^{bc}
V ₈	7 ^{ab}	4.9 ^{ab}	11.6 ^{abc}	1.4 ^{bc}	1.6 ^{de}	6137.2 ^a	207 ^{ab}	32 ^{cd}
V ₉	6.3 ^{ab}	4.3 ^{cde}	12 ^{ab}	1.4 ^{bc}	1.8 ^{cd}	4726 ^{dc}	181.5 ^b	40 ^{ab}
V ₁₀	6 ^{bc}	4.8 ^{abc}	11.2 ^{bc}	1.2 ^c	2.7 ^a	6098.8 ^{ab}	194.2 ^{ab}	31.2 ^{de}

V₁: IR74428-153-2-3, V₂: IR75482-149-1-1, V₃: IR70416-53-2-2, V₄: AR₈, V₅: G₂₈, V₆: فیروزان, V₇: وندانا, V₈: شیروودی, V₉: کشوری, V₁₀: ندا.

V₁: IR74428-153-2-3, V₂: IR75482-149-1-1, V₃: IR70416-53-2-2, V₄: AR₈, V₅: G₂₈, V₆: Firozan, V₇: Vandana, V₈: Shiroodi, V₉: Keshvari, V₁₀: Neda. (Chlo a and b: Chlorophyll a, and b, Cart: Carotenoids, S.Y: Seed Yield, B.Y: Biological Yield, H.I: Harvest Index).

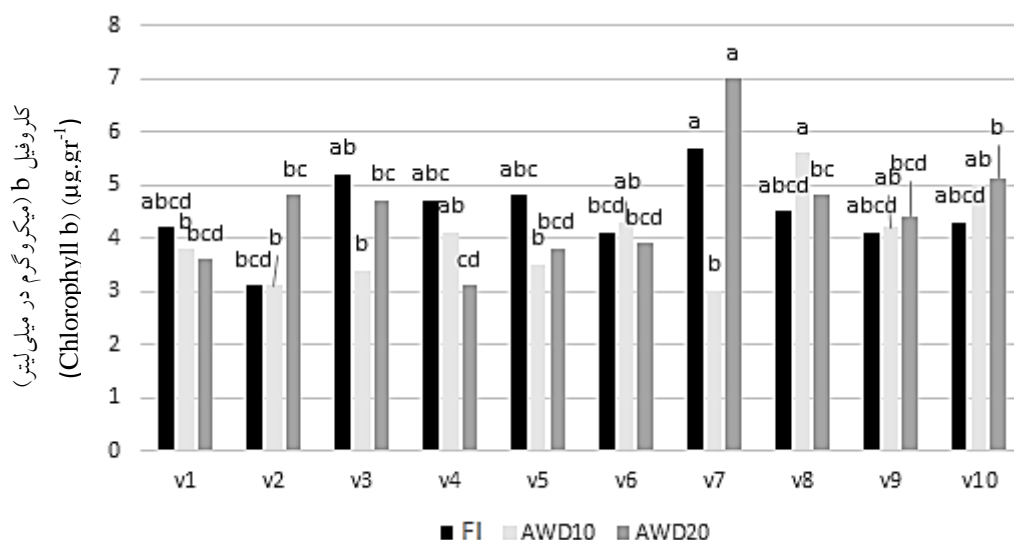


شکل ۱- برهم کنش ژنوتیپ در آبیاری بر کلروفیل a

V₁: IR74428-153-2-3, V₂: IR75482-149-1-1, V₃: IR70416-53-2-2, V₄: AR₈, V₅: G₂₈, V₆: فیروزان, V₇: وندانا, V₈: شیروودی, V₉: کشوری, V₁₀: ندا, FI: آبیاری غرقابی, AWD10 و AWD20: تر و خشک کردن متناوب با کاهش عمق آب تا ۱۰ و ۲۰ سانتی متر زیر سطح خاک

Figure 1- Effect of interaction between genotype and irrigation on chlorophyll a.

V₁: IR74428-153-2-3, V₂: IR75482-149-1-1, V₃: IR70416-53-2-2, V₄: AR₈, V₅: G₂₈, V₆: Firozan, V₇: Vandana, V₈: Shiroodi, V₉: Keshvari, V₁₀: Neda, Respectively: Flooding irrigation, Wet and drying Alternative to 10 cm under soil surface (AWD10), Wet and drying Alternative to 20 cm under soil surface (AWD20)



شکل ۲- برهم‌کنش ژنوتیپ در آبیاری بر کلروفیل b

V₁: IR74428-153-2-3، V₂: IR75482-149-1-1، V₃: IR70416-53-2-2، V₄: AR₈، V₅: G₂₈، V₆: فیروزان، V₇: وندانا، V₈: شیرویدی، V₉: کشوری، V₁₀: ندا، FI: آبیاری غرقابی، AWD10 و AWD20: تر و خشک کردن متناوب با کاهش عمق آب تا ۱۰ و ۲۰ سانتی متر زیر سطح خاک

Figure 2- Effect of interaction between genotype and irrigation on chlorophyll b.

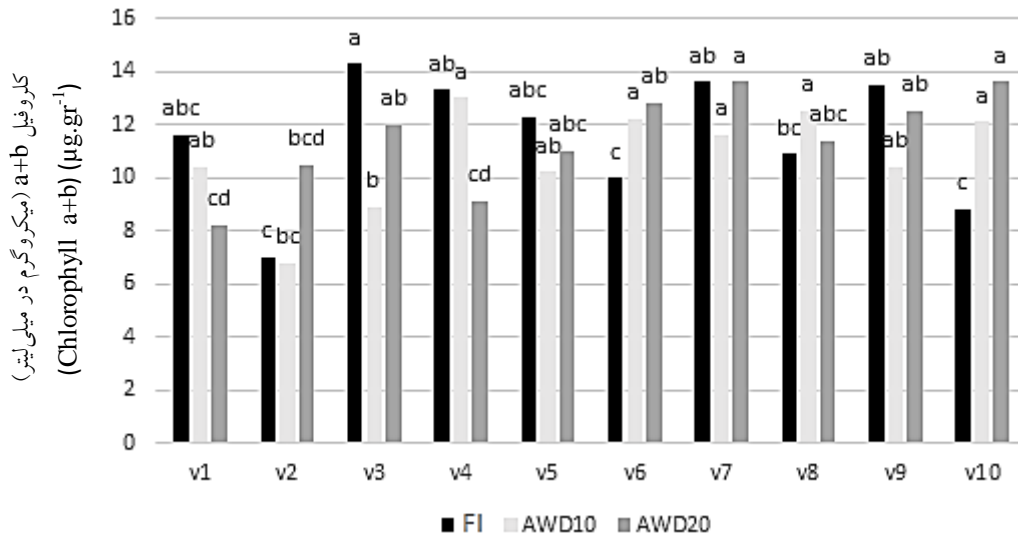
V₁: IR74428-153-2-3، V₂: IR75482-149-1-1، V₃: IR70416-53-2-2، V₄: AR₈، V₅: G₂₈، V₆: Firozan، V₇: Vandana، V₈: Shiroodi، V₉: Keshvari، V₁₀: Neda, Respectively: Flooding irrigation (FI), Wet and drying Alternative to 10 cm under soil surface (AWD10), Wet and drying Alternative to 20 cm under soil surface (AWD20)

برخوردار گردید. بیش‌ترین و کم‌ترین نسبت کلروفیل a به b در آبیاری غرقابی به ترتیب با میانگین دو و ۰/۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر، مربوط به ژنوتیپ AR8 و کشوری بود. در تیمار AWD10 نیز کم‌ترین مقدار نسبت کلروفیل a به b با میانگین ۰/۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر، به ژنوتیپ ندا اختصاص داشت. ژنوتیپ فیروزان در زمان تنش رطوبتی AWD20، بیش‌ترین مقدار نسبت کلروفیل a به b را با میانگین ۲/۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر تولید کرد. بر اساس نتایج برهم‌کنش تیمارهای آزمایش، ژنوتیپ ندا در هر سه روش آبیاری، بیش‌ترین مقدار کاروتنوئید را دارا بود. ندا در سطح آبیاری AWD10 بیش‌ترین مقدار کاروتنوئید را با میانگین ۲/۸ میکروگرم بر میلی‌لیتر تولید کرد. در حالی که کم‌ترین مقدار کاروتنوئید در آبیاری غرقابی و AWD20 مربوط به ژنوتیپ IR70416-53-2-2 و در سطح AWD10 مربوط به ژنوتیپ فیروزان بود (شکل ۵). تمامی ژنوتیپ‌ها در

مطابق با نتایج برهم‌کنش تیمارها، بیش‌ترین مجموع دو رنگی‌ه فتوسنتزی a و b با میانگین ۱۵/۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر مربوط به زمان کاربرد آبیاری مجدد با کاهش رطوبت به ۲۰ سانتی‌متری زیر سطح خاک و در ژنوتیپ ندا بود. ژنوتیپ IR70416-53-2-2 با میانگین ۱۴/۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر، در سطح AWD20 و همچنین، ژنوتیپ AR8 با میانگین ۱۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر در آبیاری غرقابی، دارای بیش‌ترین مقدار کلروفیل a+b بودند. کم‌ترین مقدار کلروفیل a+b نیز با حدود ۵۵ درصد کاهش نسبت به ندا، مربوط به ژنوتیپ IR75482-149-1-1 در تیمار AWD20 مشاهده شد (شکل ۳). بر اساس شکل ۴، ژنوتیپ وندانا در تیمار AWD10، دارای بیش‌ترین نسبت کلروفیل a به b با میانگین ۳/۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. در حالی که ژنوتیپ مذکور در سطح آبیاری مجدد تا ۲۰ سانتی‌متری زیر سطح خاک با میانگین ۰/۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر از کم‌ترین مقدار

بر رنگیزه‌های فتوسنتزی ژنوتیپ‌های مورد آزمایش اثر منفی به همراه نداشت.

دو سطح تنش رطوبتی اعمال شده، مجموع رنگیزه فتوسنتزی بیش‌تری نسبت به سطح آبیاری غرقابی داشتند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تنش خشکی

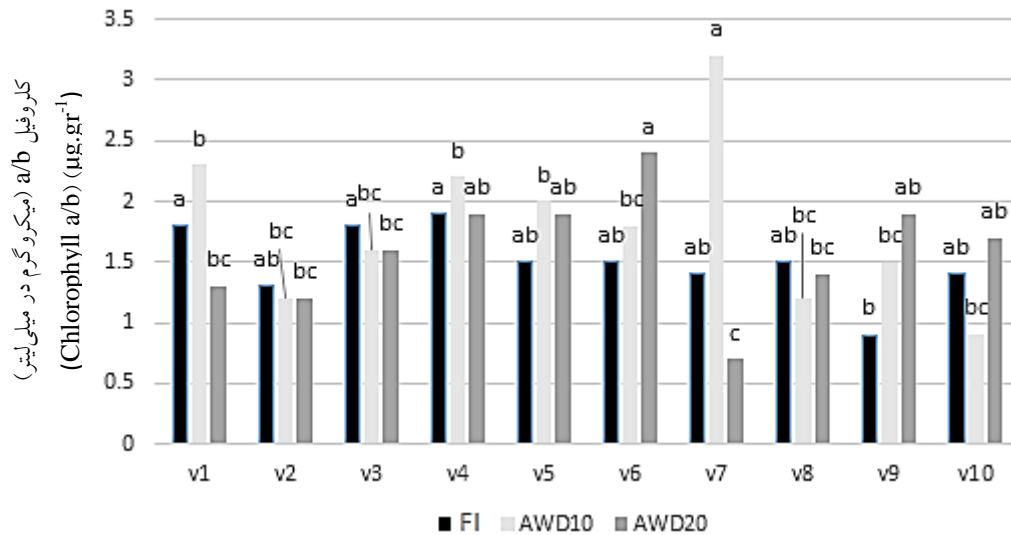


شکل ۳- برهم‌کنش ژنوتیپ در آبیاری بر کلروفیل a+b.

V₁: IR74428-153-2-3, V₂: IR75482-149-1-1, V₃: IR70416-53-2-2, V₄: AR₈, V₅: G₂₈, V₆: فیروزان, V₇: وندانا, V₈: شیروودی, V₉: کشوری, V₁₀: ندا, FI: آبیاری غرقابی؛ AWD10 و AWD20: تر و خشک کردن متناوب با کاهش عمق آب تا ۱۰ و ۲۰ سانتی متر زیر سطح خاک آبیاری غرقابی؛ AWD10 و AWD20: تر و خشک کردن متناوب با کاهش عمق آب تا ۱۰ و ۲۰ سانتی متر زیر سطح خاک

Figure 3- Effect of interaction between genotype and irrigation on chlorophyll a+b.

V₁: IR74428-153-2-3, V₂: IR75482-149-1-1, V₃: IR70416-53-2-2, V₄: AR₈, V₅: G₂₈, V₆: Firozan, V₇: Vandana, V₈: Shiroodi, V₉: Keshvari, V₁₀: Neda, Respectively: Flooding irrigation (FI), Wet and drying Alternative to 10 cm under soil surface (AWD10), Wet and drying Alternative to 20 cm under soil surface (AWD20)

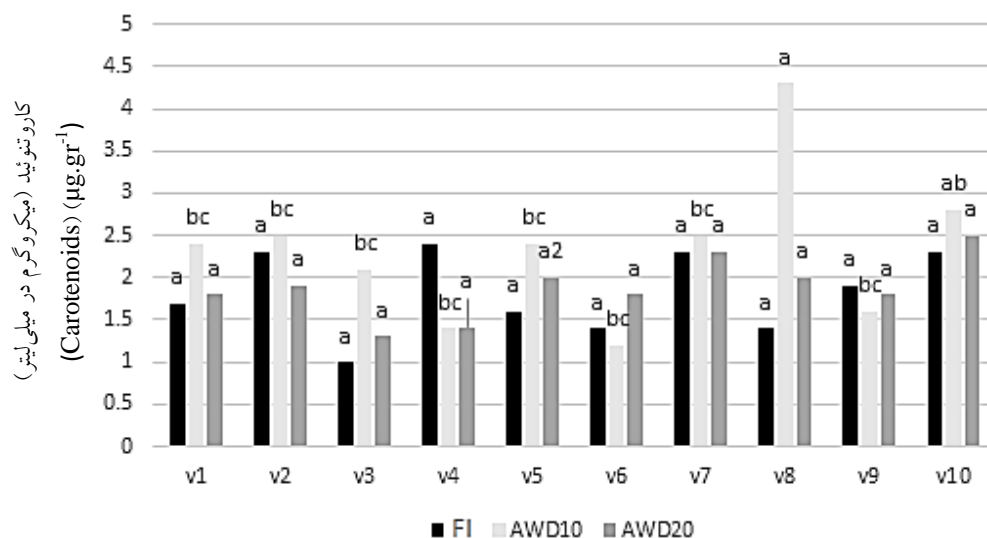


شکل ۴- برهم‌کنش ژنوتیپ در آبیاری بر کلروفیل a/b.

V₁: IR74428-153-2-3, V₂: IR75482-149-1-1, V₃: IR70416-53-2-2, V₄: AR₈, V₅: G₂₈, V₆: فیروزان, V₇: وندانا, V₈: شیروودی, V₉: کشوری, V₁₀: ندا, FI: آبیاری غرقابی؛ AWD10 و AWD20: تر و خشک کردن متناوب با کاهش عمق آب تا ۱۰ و ۲۰ سانتی متر زیر سطح خاک

Figure 4- Effect of interaction between genotype and irrigation on chlorophyll a/b.

V₁: IR74428-153-2-3, V₂: IR75482-149-1-1, V₃: IR70416-53-2-2, V₄: AR₈, V₅: G₂₈, V₆: Firozan, V₇: Vandana, V₈: Shiroodi, V₉: Keshvari, V₁₀: Neda, Respectively: Flooding irrigation (FI), Wet and drying Alternative to 10 cm under soil surface (AWD10), Wet and drying Alternative to 20 cm under soil surface (AWD20)



شکل ۵- برهم‌کنش ژنوتیپ در آبیاری بر محتوای کاروتنوئید.

V₁: IR74428-153-2-3, V₂: IR75482-149-1-1, V₃: IR70416-53-2-2, V₄: AR₈, V₅: G₂₈, V₆: فیروزان, V₇: وندانا, V₈: شیروودی, V₉: کشوری, V₁₀: ندا, FI: آبیاری غرقابی؛ AWD10 و AWD20: تر و خشک کردن متناوب با کاهش عمق آب تا ۱۰ و ۲۰ سانتی متر زیر سطح خاک

Figure 5- Effect of interaction between genotype and irrigation on Carotenoids.

V₁: IR74428-153-2-3, V₂: IR75482-149-1-1, V₃: IR70416-53-2-2, V₄: AR₈, V₅: G₂₈, V₆: Firozan, V₇: Vandana, V₈: Shiroadi, V₉: Keshvari, V₁₀: Neda, Respectively: Flooding irrigation (FI), Wet and drying Alternative to 10 cm under soil surface (AWD10), Wet and drying Alternative to 20 cm under soil surface (AWD20)

جدول ۷- همبستگی بین صفات مورد مطالعه.

Table 7- correlation between studied traits.

عملکرد دانه (S.Y)	عملکرد زیستی (B.Y)	شاخص برداشت (H.I)	کلروفیل a (chlo a)	کلروفیل b (chlo b)	کلروفیل a+b (chlo a+b)	کلروفیل a/b (chlo a/b)	کاروتنوئید (car)
عملکرد دانه (S.Y)	1						
عملکرد زیستی (B.Y)	0.1 ^{ns}	1					
شاخص برداشت (H.I)	0.2*	-0.1 ^{ns}	1				
کلروفیل a (chlo a)	-0.1 ^{ns}	0.1 ^{ns}	-0.3**	1			
کلروفیل b (chlo b)	0.1 ^{ns}	0.06 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.2*	1		
کلروفیل a+b (chlo a+b)	-0.07 ^{ns}	0.09 ^{ns}	-0.2*	0.5**	0.7**	1	
کلروفیل a/b (chlo a/b)	-0.2*	0.08 ^{ns}	-0.2*	0.6**	-0.4**	0.03 ^{ns}	1
کاروتنوئید (car)	0.09 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.1 ^{ns}	-0.2*	-0.05 ^{ns}	-0.1 ^{ns}	-0.05 ^{ns}

ns, * and ** are meaningless and significant at the five and one percent levels, respectively. (Chlo a and b: Chlorophyll a, and b, Car: Carotenoids, S.Y: Seed Yield, B.Y: Biological Yield, H.I: Harvest Index).

مقاومت به تنش است، افزایش غلظت کلروفیل کل گیاه با افزایش شدت تنش خشکی می‌تواند دلالت بر

از آنجایی که دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ در شرایط تنش، از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک

افزایش ظرفیت گیاه جهت به دام انداختن نور و نوعی خود تنظیمی، در برابر تنش خشکی باشد (۲۵). صرافی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که وظیفه کلروفیل بسته به دور آبیاری می‌تواند متفاوت باشد و از جنبه کمکی در تنش به افزایش ظرفیت فتوسنتزی تغییر یابد (۲۶). هرچند که شواهد در دسترس مبنی بر آن است که تنش آبی، کلروفیل برگ را کاهش می‌دهد (۲۷، ۲۸)، اما پژوهش‌های دیگر چنین کاهش در غلظت کلروفیل، در شرایط تنش را گزارش نکردند. به‌گونه‌ای که تانگ و بومن (۲۰۰۳) نشان دادند که در گندم^۱ شاخص‌هایی نظیر محتوای کلروفیل در واکنش به تنش خشکی افزایش می‌یابد و این واکنش در برگ‌های پرچم، قابل توجه است (۲۹). در بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر رشد، بهره‌وری و کارایی استفاده از منابع در برنج مشخص شد که بیش‌ترین محتوای کلروفیل a، b و کاروتنوئید مربوط به تیمارهای AWD می‌باشد. به‌طوری که محتوای هر سه رنگیزه مذکور در رژیم تر و خشک شدن متناوب خاک به ترتیب ۲۰، هفت و ۱۲/۵ درصد بیش‌تر از روش غرقاب مداوم طی دو سال آزمایش بود (۲۰). در گیاهان زراعی گزارش‌هایی در رابطه با واکنش‌های متفاوت کلروفیل به خشکی، در ارقام حساس و مقاوم (۳۰) و یا عدم تأثیر تنش خشکی، بر غلظت کلروفیل ارائه شده است (۳۱). بنابراین، با توجه به افزایش صفات مذکور در شرایط تنش، می‌توان بیان کرد که احتمالاً ژنوتیپ‌های به‌کار رفته در آزمایش، تحمل بیش‌تری نسبت به تنش خشکی داشته و از این صفات می‌توان به‌عنوان معیارهای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده کرد.

عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که مدیریت‌های مختلف آبیاری فقط بر شاخص برداشت در سطح پنج

درصد معنی‌دار بود. ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از نظر عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت با یکدیگر اختلاف آماری ($p < 0.01$) داشتند (جدول ۴). بر اساس جدول مقایسه میانگین (جدول ۵)، تیمارهای کم‌آبیاری تفاوتی با تیمار غرقابی بر عملکرد دانه نشان ندادند. با وجود بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار تر و خشک شدن تناوبی تا ۲۰ سانتی‌متری (۵۰۰۶ کیلوگرم بر هکتار)، تیمار آبیاری مجدد تا ۱۰ سانتی‌متری زیر سطح خاک فقط هشت درصد عملکرد دانه کم‌تری نسبت به AWD20 تولید کرد. تیمار غرقابی با میانگین ۴۹۴۸/۵ کیلوگرم بر هکتار با دو تیمار کم‌آبیاری در سطح آماری مشابهی قرار داشت. اگرچه، مدیریت‌های مختلف آبیاری اثر معنی‌دار بر عملکرد زیستی گیاه نداشتند، اما بیش‌ترین عملکرد زیستی در تیمار AWD10، پس از آن در آبیاری غرقابی و در نهایت در AWD20 مشاهده گردید (میانگین به‌ترتیب ۲۰۸/۸، ۲۰۵/۲ و ۱۹۰/۴ گرم در دو کپه). با توجه به افزایش عملکرد دانه و کاهش عملکرد زیستی در تیمار تر و خشک شدن تناوبی خاک تا ۲۰ سانتی‌متری از سویی و محاسبه شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد زیستی از سوی دیگر، بیش‌ترین شاخص برداشت در تیمار آبیاری مجدد تا ۲۰ سانتی‌متری زیر سطح خاک با میانگین ۳۶ درصد به‌دست آمد. در حالی که دو تیمار غرقابی و AWD10 بدون اختلاف معنی‌دار، ۱۲ درصد شاخص برداشت کم‌تری نسبت به AWD20 به‌همراه داشتند. بر همین اساس، نتایج همبستگی صفات نیز حاکی از ارتباط مثبت و معنی‌دار شاخص برداشت با عملکرد دانه بود (جدول ۷). یافته‌های پیشین نشان داده بود که مدیریت آبیاری تر و خشک شدن متناوب خاک می‌تواند در برنج عملکردی مشابه با شیوه سنتی آبیاری (۳۰) و یا بیش‌تر از آن تولید نماید (۳۲). در پژوهش حاضر نیز تیمارهای کم‌آبیاری

1. *Triticum sativum*

معنی‌دار، در ژنوتیپ‌های AR8 و G28 با میانگین ۳۶۰۵ کیلوگرم بر هکتار مشاهده گردید. افزون بر این، ژنوتیپ فیروزان با AR8 و G28 فاقد تفاوت معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین عملکرد زیستی بدون اختلاف در ژنوتیپ‌های AR8، میانگین ۲۳۴/۲ گرم در دو کپه و IR74428-153-2-3، کم‌ترین ۲۰۲ گرم در دو کپه، مشاهده شد. کم‌ترین مقدار نیز با ۲۲ درصد کاهش نسبت به AR8، مربوط به دو ژنوتیپ شیروودی و کشوری می‌باشد. بیش‌ترین شاخص برداشت با میانگین ۴۳/۳ درصد مربوط به ژنوتیپ IR74428-153-2-3 بود که با IR75482-149-1-1 و شیروودی اختلاف معنی‌دار نداشت. کم‌ترین مقدار نیز در ژنوتیپ G28 با میانگین ۲۴/۵ درصد مشاهده شد. همچنین، فیروزان و AR8 با G28 در گروه آماری مشابهی قرار داشتند. از آنجایی که شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد زیستی به دست می‌آید و با توجه به کاهش عملکرد دانه در G28، نتایج حاصل منطقی به نظر می‌رسد.

پژوهش‌ها در مورد فتوسنتز گیاهان زراعی در پاسخ به تنش خشکی و شبکه‌های متقابل ژن‌ها با این پاسخ با استفاده از رویکردهای فیزیولوژیکی و ترانس کریپتومیک^۱ به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است (۸، ۳۲). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در پاسخ به خشکی به‌طور عمده تغییراتی در رشد سلول، ساخت هورمون‌ها، انتقال سلولی، متابولیسم اسیدهای آمینه و کربوهیدرات‌ها و سیگنالینگ رخ می‌دهد (۷). یافته‌ها حاکی از تفاوت عملکرد واریته‌های مختلف برنج در رژیم‌های متفاوت آبیاری می‌باشد. به‌طوری که دنگ و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که عملکرد دانه در واریته متحمل‌تر بالاتر از واریته‌ای با تحمل کم‌تر به خشکی بود (۱۲). این نویسندگان همچنین عملکرد دانه را در رژیم AWD، به‌دلیل

از بیش‌ترین عملکرد دانه برخوردار بودند. در پژوهشی با چهار نوع مختلف سیستم آبیاری، صفات فیزیولوژیکی و عملکردی برنج در تیمارهای آبیاری تا پنج سانتی‌متری، یک تا سه سانتی‌متری و تا یک سانتی‌متری خاک، تفاوت معنی‌داری نداشتند (۳۱). افزون بر این، یافته‌های حاضر با نتایج حسین و همکاران (۲۰۲۱) و دجامان همکاران (۲۰۱۸) در مورد افزایش عملکرد برنج در تیمارهای AWD در مقایسه با روش غرقابی گزارش شده است. این نویسندگان دلیل افزایش عملکرد دانه، عملکرد زیستی و همچنین شاخص برداشت را افزایش در تعداد خوشه و سنبلیچه، درصد پر شدن دانه و وزن هزار دانه در این تیمارها بیان کردند (۱۳، ۲۰). دلیل افزایش عملکرد در این نوع رژیم آبیاری در برنج، افزایش قابل توجه به مواد مغذی بیان شده است. چرا که بر اساس یافته‌ها، آبیاری دوباره پس از خشک شدن خاک بر فرم و غلظت عناصر غذایی اثرگذار می‌باشد (۹). برای مثال، در مقایسه با تیمار غرقاب مداوم، در شرایطی که فسفر خاک اندک باشد، رژیم تر و خشک شدن متناوب خاک تحریک معدنی شدن فسفر را جهت آزادسازی به خاک، فراهم می‌سازد (۱۵).

بر اساس نتایج حاصل، افزایش محتوای رنگی‌های فتوسنتزی گیاه در رژیم‌های AWD، بر رشد و توسعه برگ گیاه به‌عنوان کارخانه‌های تولید گیاه اثر دارند. بنابراین، تیمار تر و خشک شدن متناوب خاک از طریق تعدیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه بر محتوای کلروفیل اثر مثبت دارند (۲۵).

بر اساس مقایسه میانگین (جدول ۶) ژنوتیپ شیروودی با میانگین ۶۱۳۷/۲ کیلوگرم بر هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه را تولید کرد. همچنین، ژنوتیپ‌های IR75482-149-1-1، IR70416-53-2-2، و ننادانا و ندا با ژنوتیپ شیروودی در سطح آماری مشترکی قرار داشتند. کم‌ترین مقادیر نیز بدون اختلاف

میکروگرم بر میلی‌لیتر) و کلروفیل a+b (۱۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر) به ژنوتیپ بین‌المللی متحمل به خشکی (وندانا) تعلق داشت. ژنوتیپ ندا نیز دارای بالاترین محتوای کاروتنوئید (۲/۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بود. بالاترین عملکرد دانه نیز به ژنوتیپ شیرودی با میانگین ۶۱۳۷ کیلوگرم بر هکتار تعلق یافت. مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها حکایت از افزایش صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های مختلف در همراهی با تیمارهای کم‌آبیاری نسبت به آبیاری غرقابی داشت. به‌گونه‌ای که ژنوتیپ ندا بیش‌ترین کلروفیل b با میانگین شش میکروگرم بر میلی‌لیتر، کلروفیل a+b و همچنین بالاترین محتوای کاروتنوئید را در تیمار آبیاری مجدد تا ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک تولید کرد. در مجموع، در راستای کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری منابع آبی در شالیزار، می‌توان از ژنوتیپ‌های معرفی شده در بررسی حاضر، در تیمارهای کم‌آبیاری بدون کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و ماده خشک گیاه استفاده نمود. همچنین، ژنوتیپ‌های ندا و وندانا به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در شرایط کم‌آبیاری در منطقه اجرای طرح معرفی می‌گردد.

References

1. Dodd, I., Puértolas, J., Huber, K., Pérez-Pérez, J., Wright, H.R. and Blackwell, M.S. 2015. The importance of soil drying and re-wetting in crop phytohormonal and nutritional responses to deficit irrigation. *J. Exp. Bot.* 66: 1. 175-176.
2. Fouman, A. 2010. Sorghum breeding and production, Agricultural Education Publication.
3. Gilani, A., Alami-Saeed, K.H., Siadat, A. and Seidnejah, M. 2012. Study of heat stress on rice (*Oryza sativa* L.) grain milling quality in Khuzestan. *Crop Physiol. J.* 4: 14. 5-21.
4. Bouman, B.A.M., Feng, L., Tuong, T.P., Lu, G., Wang, H. and Feng, Y. 2007.

افزایش اندازه مخزن، بیش‌تر از غرقاب مداوم گزارش کردند.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، ژنوتیپ‌ها با کاربرد تیمارهای کم‌آبیاری، از نظر صفات مرتبط با رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد، نه‌تنها اختلافی با آبیاری غرقاب نشان ندادند بلکه عملکرد دانه، شاخص برداشت، نسبت کلروفیل a به b و محتوای کاروتنوئید بیش‌تری در مقایسه با آبیاری غرقابی تولید کردند (به‌ترتیب دو، ۷/۷، ۲۰، ۵/۲ درصد). ژنوتیپ‌ها نیز اختلاف بسیار معنی‌داری با یکدیگر در مورد صفات مورد ارزیابی نشان دادند. لاین هوازی (AR₈) دارای بیش‌ترین محتوای کلروفیل و نسبت کلروفیل a به b با میانگین هشت و دو میکروگرم بر میلی‌لیتر به‌ترتیب بود. همچنین AR₈ به‌همراه لاین کیفی ایری (IR74428-153-2-3) بالاترین عملکرد زیستی را به‌خود اختصاص دادند. دو لاین دیگر ایری (IR70416-53-2-2 و IR74428-153-2-3) نیز به‌ترتیب دارای بیش‌ترین شاخص برداشت (۴۳/۳ درصد) بودند. بیش‌ترین محتوای کلروفیل b (۵/۲)

- Exploring options to grow rice under water-short conditions in northern China using a modelling approach. II: Quantifying yield, water balance components, and water productivity. *Agric Water Manage.* 88: 1. 23-33.
5. Malik, S.A., Gupta, M., Mondal, S.K. and Sinha, B.K. 2011. Characterization of Wheat (*Triticum aestivum*) genotypes on the basis of metabolic changes associated with water stress. *Ind J. Agric. Sci.* 81: 8. 761-761.
 6. Mayoral, M.L., Atsman, D., Shinshi, D. and Gromete-Elhanan, Z. 1987. Effect of water stress of enzyme activities of wheat and related wild species: carboxylase activity, electron transport and photophrylation isolated

- chloroplasts. *Aust. J. Plant Physiol.* 8: 3. 358-393.
7. Moumeni, A., Satoh, K., Kondoh, H., Asano, T., Hosaka, A., Venuprasad, R. and Kikuchi, S.M. 2011. Comparative analysis of root transcription profiles of two pairs of drought-tolerant and susceptible rice near-isogenic lines under different drought stress. *BMC Plant Biol.* 11: 1. 1-17.
 8. Niu, Y., Wang, Y., Li, P., Zhang, F., Liu, H. and Zheng, G. 2013. Drought stress induces oxidative stress and the antioxidant defense system in ascorbate-deficient *vtcl* mutants of *Arabidopsis thaliana*. *Acta Physiol. Plant.* 34: 4. 1189-1200.
 9. Forber, K.J., Ockenden, M.C., Wearing, C., Hollaway, M.J., Falloon, P.D., Kahana, R. and Haygarth, P.M. 2017. Determining the effect of drying time on phosphorus solubilization from three agricultural soils under climate change scenarios. *Ren Environ Health.* 46: 1. 1131-1136.
 10. Parker, R. and Ring, S.G. 2001. Aspects of the physical chemistry of starch. *Cereal Res. Commun.* 34: 1. 1-17.
 11. Bond, R.D., Still, J.A. and Dombek, D.G. 2017. Arkansas corn and grain sorghum performance tests. University of Arkansas.
 12. Deng, Y., Qiao, S.H., Wang, W., Zhang, W., Gu, J., Liu, L., Zhang, H., Wang, Z. and Yang, J. 2021. Tolerance to low phosphorus was enhanced by an alternate wetting and drying regime in rice. *Food Energy Secur.* 10: 1. 1-18.
 13. Djman, K., Mel, V., Diop, L., Sow, A., El-Namaky, R., Manneh, B., Satio, K., Futakuchi, K. and Irmak, S. 2018. Effects of alternate wetting and drying irrigation regime and nitrogen fertilizer on yield and nitrogen use efficiency of irrigated rice in the Sahel. *Water Resour Res.* 10: 711. 1-20.
 14. Kulshreshtha, S.D., Mishra, P. and Gupta, R.K. 1987. Changes in contents of chlorophyll, proteins and lipids in whole chloroplast and chloroplast membrane fractions different leaf water potentials in drought resistant and sensitive genotype of wheat. *Photosynthetica.* 21: 6. 65-70.
 15. Xu, Q., Ma, X., Lv, T., Bai, M., Wang, Z. and Niu, J. 2020. Effects of water stress on fluorescence parameters and photosynthetic characteristics of drip irrigation in rice. *J. Water Resource Prot.* 12: 1. 1-19.
 16. Song, T., Xu, F., Yuan, W., Zhang, Y., Liu, T., Chen, M. and Zhang, J. 2018. Comparison on physiological and phosphorus use efficiency of upland rice and lowland rice under alternate wetting and drying irrigation. *Eur. J. Appl. Physiol.* 86: 1. 195-210.
 17. Yang, J., Zhang, Q. and Zhang, J. 2017. Moderate wetting and drying increases rice yield and reduces water use, grain arsenic level and methane emission. *Crop J.* 5: 1. 151-158.
 18. Price, A.H., Norton, G.J., Salt, D.E., Ebenhoeh, O., Meharg, A.A., Meharg, C. and Davies, W.J. 2013. Alternate wetting and drying irrigation for rice in Bangladesh: Is it sustainable and has plant breeding something to offer?. *Food Energy secur.* 2: 1. 120129.
 19. Wang, Z., Zhang, W., Beebout, S., Zhang, H., Liu, L., Yang, J. and Zhang, J. 2016. Grain yield, water and nitrogen use efficiencies of rice as influenced by irrigation regimes and their interaction with nitrogen rates. *Field Crops Res.* 193: 1. 54-69
 20. Hussain, S., Hussain, S., Aslan, Z., Rafiq, M., Abbas, A., Saqib, M., Rauf, A., Hano, Ch. and El-Esawi, M. 2021. Impact of different water management regimes on the growth, productivity and resource use efficiency of dry direct seeded rice in central Punjab-Pakistan. *Agron.* 11: 151. 1-13.
 21. IRRI. 2001. Water in rice research: The way forward. IRRI Annual Report, 2000-2001. 17 p.
 22. Nasiri, M., Meskarbashi, M., Hasibi, P. and Pirdashti, H. 2020. Evaluation and selection of drought tolerant rice genotypes using fluorometric methods. *J. Plant Prod.* 27: 3. 1-21 (In Persian)
 23. Lichtenthaler, H.K. and Welburn, W. R. 1994. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts

- in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.* 11: 5. 591-592.
24. Hamada, A. 2000. Amelioration of drought stress by ascorbic acid, thiamin or aspirin in wheat plants. *Ind J. Plant Physic.* 5: 4. 358-364.
25. Khairi, M., Nozulaidi, M. and Jahan, S. 2015. Effects of different water levels on physiology and yield of salinity rice variety. *Aust J Basic Appl Sci.* 9: 2. 78-81.
26. Sarafi, S., Azari, A., Saberi, R. and Mohammadi Mirik, A. 2017. Changes trend of physiological in maize as influenced by delaying irrigation and bacterial in siderophore. *J. Crop Prod Process.* 7:2.89-102. (In Persian)
27. Ashraf, M.Y.A.R., Azmi, A., Khan, H. and Ala, S.L. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta physiol. Plant.* 16: 3. 185-197.
28. IRR. 2012. Annual Report for 2011. Los Baños, Philippines.
29. Tuong, T.P. and Bouman, B.A.M. 2003. Rice production in water-scarce environments. Proceedings of the Water Productivity Workshop. IWMI, Sri Lanka.
30. Castrillo, M. and Calcagno, A.M. 1989. Effects of water stress and rewatering on ribulose-1,5- biphosphate carboxylase activity, chlorophyll and protein contents in two cultivars of tomato. *J. Hortic Sci.* 64: 6. 717-724.
31. Ghosh, B. and Chakma, N. 2015. Impacts of rice intensification system on two C.D. blocks of Bardhaman district. West Bengal. *Curr. Sci.* 109: 2. 342-346.
32. Shankar, A.K., Maheswari, M., Yadav, S., Desai, S., Bhanu, D., Attal, N.B. and Venkateswarlu, B. 2014. Drought stress responses in crops. *Funct. Integr. Genomics.* 14: 1. 11-22.