اثر تنش ماندابی در مرحله گیاهچه‌ای بر صفات ریشه و صفات فیزیولوژیک ارقام گندم

سارا پیردهقان[۱]، علی راحمی کاریزکی[۲]، نبی خلیلی اقدم[۳]*، ابراهیم غلامعلی پور علمداری[۴]، حسین صبوری[۵]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، ایران. گنبد کاووس

[۲و ۴] استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس،

[۳] استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران،ایران،

[۵]دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۵

چکیده

اولین اثر منفی تنش ماندابی برای گیاه کمبود اکسیژن در خاک می‌باشد. کاهش اکسیژن قابل دسترس باعث کاهش توسعه ریشه و بخش‌های هوایی گیاه می‌شود. به منظور ارزیابی ارقام گندم استان گلستان تحت شرایط محدودیت اکسیژن آزمایشی درآذرماه سال زراعی ۱۳۹۵ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبد کاووس به‌صورت گلدانی و با هدف بررسی اثر مدت‌های غرقابی بر صفات ریشه‌ای و شاخص‌های فیزیولوژیک گیاهچه‌های ارقام گندم به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ سطح غرقاب (صفر، ۱۰ و ۲۰ روز) و ۱۰ رقم گندم (آفتاب، آذر، کریم، کوهدشت، لاین ۱۷، سرداری، قابوس، گنبد، مروارید و زاگرس) در ٤ تکرار اجرا شد. نتایج جوانه زنی اولیه نشان داد که بااترین درصد جوتنه در رقم کوهدشت و بیشترین سرعت جوانه زنی نیز مربوط به رقم سرداری بود نتایج آزمایش تنش نیز نشان داد که اثر طول دوره غرقاب، رقم و اثر متقابل رقم در غرقاب بر تمامی صفات مربوط به ریشه در سطح یک درصد و اثر تنش غرقابی بر کلروفیل a و کلروفیل کل در سطح احتمال پنج درصد و پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند و بر کاروتنوئید معنی‌دار نبود، هم‌چنین اثر رقم تنها بر صفت کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بر باقی صفات اثر معنی‌داری را نشان نداد. برهم‌کنش رقم در غرقاب بر کلروفیل b و کاروتنوئید و پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. رقم کوهدشت در صفات طول ریشه، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و چگالی سطح ریشه به نسبت سایر ارقام برتری داشت و نوسانات کمتری در شرایط تنش نسبت به سایر ارقام داشت، هم‌چنین رقم کریم در صفات حجم ریشه، سطح ریشه و قطر ریشه به نسبت سایر ازقام برتر بود. بهتر است از ارقام آذر و لاین ۱۷ در شرایط غرقابی در مراحل اولیه رشد و هم‌چنین از ارقام آفتاب در تنش ضعیف و زاگرس در تنش شدیدتر استفاده نگردد. ارقام سرداری و کوهدشت به‌ترتیب در سطوح عدم تنش و تنش ۱۰ روز بالاترین محتوای کلروفیل b و کاروتنوئید را داشتند که در تنش شدید بالاترین پرولین را تولید کردند.

واژه‌های کلیدی: پرولین، ریشه، کلروفیل، شاخص

مقدمه

گندم[۲] یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی مورد استفاده بشر می‌باشد که تقریباً در تمام نقاط زمین مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. این امر نشان از توانایی سازش بسیار بالای این گیاه با اقلیم‌های گوناگون می‌باشد. در سطح جهانی، یک

*نویسنده مسئول: nkhaliliaqdam@yahoo.com

[1] *Triticum aestivum* L.

سوم زمین‌های کشت شده‌ی زیر کشت غلات، زیر کشت گندم می‌باشد (Khajehpoor, 2013). غرقاب به شرایطی اطلاق می‌شود که قسمتی از ساقه گیاه در زیر سطح آب باشد. اما در صورتی که فقط منافذ بزرگ خاک اشباع از آب باشد، آب‌ماندگی اتفاق می‌افتد، ماندابی تنشی است که بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاهان را مختل می‌کند (Ashraf, 2003). غرقاب زمانی ایجاد می‌شود که خاک با یک دوره طولانی بارندگی یا آبیاری بیش از نیاز یا زهکشی ضعیف روبرو شده باشد (Kafi and Mahdavi Damghani, 2001).

تنش ماندابی حدود ۱۲ درصد از اراضی قابل کشت دنیا و تقریباً یک میلیون هکتار از اراضی زیر کشت ایران را درگیر کرده است. تنش غرقابی به دلیل بالا بودن سطح سفره آب زیرزمینی، سیلاب، آبیاری بیش از حد نیاز، افزایش بارندگی، تهیه نامناسب زمین، نفوذپذیری پایین خاک و شیب کم ایجاد می‌شود. اولین اثر منفی تنش ماندابی برای گیاه کمبود اکسیژن در خاک می‌باشد (Brison et al., 2002; Malekahmadi et al., 2005). کاهش اکسیژن قابل دسترس باعث کاهش توسعه ریشه و بخش‌های هوایی گیاه می‌شود (Brison et al., 2002). در حالت ماندابی اگرچه فقط ریشه گیاهان در معرض کمبود اکسیژن قرار می‌گیرند، ولی به کل اندام‌های گیاه آسیب وارد می‌شود. تنش ماندابی باعث مختل شدن فرآیندهای بیوشیمیایی در گیاهان می‌شود که از این اختلالات می‌توان به کاهش رشد در ریشه و در نهایت کاهشرشد اندام هوایی، کاهش ظرفیت فتوسنتزی، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش میزان جذب آب و مواد معدنی، تخریب رشد و تغییرتعادل هورمونی اشاره نمود (Ghobadi et al., 2007).

در طول دوره ماندابی، در تبادل گاز بین خاک و هوا اختلال ایجاد می‌شود، چون انتشار گاز در آب ۱۰ هزار مرتبه کاهش پیدا می‌کند. در این حالت اکسیژن موجود در خاک و ریزوسفر به وسیله ریشه تخلیه شده و خاک با کاهش یا فقدان اکسیژن روبه‌رو می‌شود (Ghobadi et al., 2007).

تنفس به‌صورت بی‌هوازی حاصل فرآیندهای فیزیولوژیک در شرایط فقدان اکسیژن می‌باشد. در چنین حالتی اکسیداسیون نهایی تنفس انجام نمی‌گیرد که این عمل منجر به تجمع اتانول و استالدئید، افزایش تولید اسید آبسیزیک، اتیلن و بسته شدن جزئی روزنه‌ها و اغلب ریزش برگ‌ها و گل‌ها می‌گردد (Li et al, 2004; Kocheki et al, 2007). کاهش کلروفیل و زرد شدن برگ‌های گندم در اثر تنش ماندابی به علت کاهش و زوال رنگدانه‌های فتوسنتزی بود (Zhang et al., 2009). بررسی‌های صورت گرفته در ذرت و گندم نشان دادند که تنش ماندابی باعث کاهش کلروفیل a و b شد (Huang et al., 1995; Younis et al., 2003.; Prasad et al., 2004). در پژوهشی که از پردل و همکاران (Pordel et al., 2017) بر روی اثر تنش ماندابی بر رشد ریشه و اندام هوایی گیاه استویا انجام گرفت، نتایج نشان داد که تنش ماندابی باعث کاهش صفات ریشه‌ای در بوته‌های استویا شد. تاثیر مهم ماندابی، افزایش تنفس بی‌هوازی می‌باشد. در این شرایط بافت ریشه به‌دلیل پایین بودن میزان تأمین انرژی مورد نیاز گیاه، سریعاً از کربوهیدرات خالی می‌گردد، در نهایت وزن ریشه به شدت کاهش پیدا می‌کند. همچنین اثر متقابل شدت و مدت ماندابی بر محتوای کلروفیل نشان‌دهنده کاهش محتوای کلروفیل می‌باشد که ممکن است به‌دلیل کاهش سرعت سنتز و یا شکسته شدن در تخریب سریع کلروفیل‌ها باشد. اثر تنش ماندابی بر صفات مورفولوژیکی مثل سطح برگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی و تعداد برگ در تیمارهای مختلف معنی‌دار بود.

نتایج حاصل از پژوهش‌های قوجق‌دردی و همکاران (Ghojoghdordi et al., 2016) بر روی خصوصیات فیزیولوژیک و اکولوژیک گیاه Palla (*Schoenoplectus triqueter* L.) در شرایط تنش ماندابی نشان داد که اثر متقابل دوره ماندابی در ارتفاع ماندابی روی تمامی صفات مورد بررسی به جزء صفت حجم ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بودند.

فقدان مواد غذایی یا ظهور علائم سمیت برخی عناصر، علت اصلی کاهش رشد گیاهان در خاک‌های ماندابی است (Steffens, 2005).

به‌طور کلی ماندابی خاک از راه‌های مختلف بر رشد گیاه تأثیرگذار است که عبارتند از: ۱- غرقاب بر قابلیت جذب و انتقال عناصر غذایی به اندام‌های هوایی تأثیر دارد ۲- تولید اتانول و متابولیت‌های سمی برای گیاه پس از غرقاب شدن خاک ۳- کاهش تولید کلروفیل یا تجزیه آن سبب کاهش شدت فتوسنتز و بروز کمبود کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌شود که رشد گیاه را کم می‌کند (Bernadina and Carvalho, 2000).

از آن‌جا که استان‌های خراسان، فارس و گلستان از مناطق مهم تولید گندم می‌باشند و به علت بارندگی و شرایط غرقابی که در این استان‌ها معمول است و هم‌چنین با توجه به تاثیر منفی غرقابی روی گندم، بنابراین شناسایی ارقام متحمل به ماندابی دارای اهمیت است. در این راستا آزمایشی به منظور بررسی واکنش ارقام مختلف گندم به تنش غرقابی در مراحل اولیه رشد گیاه در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبد کاووس در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در آذرماه سال ۱۳۹۵ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبد کاووس با ۳۷ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی عرض جغرافیایی و ۵۵ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی از نصف النهار مبدأ انجام گرفت. تیمارها در دو محیط ژرمیناتور و داخل گلدان، با هدف بررسی اثر مدت‌های مختلف غرقابی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دوره‌های مختلف ماندابی (صفر، ۱۰ و ۲۰ روز) و ارقام گندم شامل (آذر۲، گنبد، کوهدشت، کریم، قابوس، لاین ۱۷، مروارید، آفتاب، زاگرس و سرداری) بودند. در آزمایش جوانه‌زنی از هر رقم ٤ تکرار ۳۰ بذری داخل ۳ لایه حوله کاغذی و سپس در داخل ژرمیناتور با دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (**سلطانی و همکاران**، ۲۰۰۸). بازدید از بذرها هر روز دو بار صورت گرفته شد. معیار بذور جوانه‌زده خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیش‌تر بود (**هامپتون و تکرونی**، ۱۹۹۵). برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی و زمان تا شروع مؤثر جوانه‌زنی (یعنی مدت زمانی‌که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰ درصد حداکثر خود برسد، D10)، زمان تا پایان موثر جوانه‌زنی (مدت زمانی‌که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی از ۱۰ درصد حداکثر خود به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد، D90) و یکنواختی جوانه‌زنی[1] (GU) از برنامه Germin (**سلطانی و مداح یزدی**، ۲۰۱۰) استفاده شد.

کشت در داخل گلدان‌هایی از جنس پلاستیک با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و قطر ۷ سانتی‌متر و دارای زهکش مناسب انجام پذیرفت. از خاک مزرعه پژوهشی دانشگاه گنبد کاووس برای کشت استفاده شد که دارای بافت سیلتی رسی لومی بود. به‌منظور داشتن گیاه مطلوب در هر گلدان ۵ عدد بذر کاشته شد و در مرحله سه برگی، به تعداد دو گیاهچه کاهش پیدا کرد. 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 به‌صورت 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.

[1]Germination uniformity

به منظور اعمال تیمارهای غرقابی حوضچه‌هایی به ابعاد ۲۵۰ در ۹۰ سانتی‌متر و به ارتفاع ٦۰ سانتی‌متر ایجاد شد و در زمان اعمال تنش، حوضچه‌ها به‌میزانی که سطح خاک گلدان‌ها در حالت غرقاب قرار گیرد از آب اشباع گردید. زمان اعمال تنش در کرت‌های مربوط به تیمار تنش ۲۰ روز غرقاب، زمانی در نظر گرفته شد که ۹۰ درصد گلدان‌ها به مرحله ۳ برگچه‌ای رسیده بودند و پس از گذشت ۱۰ روز از اعمال این سطح از تنش، کرت‌های مربوط به ۱۰ روز تنش، به مدت ۱۰ روز تحت شرایط ماندابی قرار گرفتند تا گیاهان در سطوح تنش در یک زمان از شرایط خارج گردند.

پس از به پایان رسیدن مدت تنش، جداسازی ریشه‌ها با اشباع کردن خاک از آب و به آرامی انجام شد و بعد از جداسازی ریشه‌ها از خاک صفات مربوط به ریشه شامل طول ریشه اصلی[1] (TL) با استفاده از خط‌کش میلی‌متری و حجم ریشه[2] (RV) با قرار دادن ریشه‌ها در یک استوانه مدرج با حجم مشخص و اختلاف حجم آب قبل و بعد از قرار دادن ریشه اندازه‌گیری شد. وزن تر ریشه[3] (RFW) و وزن خشک ریشه[4] (RDW) با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. قبل از اندازه‌گیری وزن خشک، ریشه‌ها به‌مدت ٤۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد جهت خشک شدن قرار گرفتند.

سطح ریشه[5] (RA) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Alizadeh, 2006):

۱. ۰/۵ (حجم ریشه ×π× طول ریشه)۲=سطح ریشه

با داشتن اطلاعات وزن تر ریشه، حجم ریشه و طول ریشه سایر صفات مثل قطر ریشه٦ (RD) و چگالی سطح ریشه۷ (RSD) اندازه‌گیری شد (Hajabbasee, 2001).

۲) ۰/۵ ((طول ریشه×π)/وزن تر ریشه × ٤)=قطر ریشه

۳) (طول ریشه × قطر ریشه ×π) = چگالی سطح ریشه

بعد از اعمال تنش ماندابی ۱۰ و ۲۰ روز و خارج کردن نمونه‌ها از شرایط تنش به‌طور هم‌زمان پارامترهای صفات فیزیولوژیکی شامل سنجش محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید بر اساس روش آرنون (Arnon, 1949)، و پرولین (Beets *et al*., 1973) از اندام سبز نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها: برای این منظور ۰/۲۵ گرم وزن تر برگ که از برگ‌های کاملاً توسعه یافته فوقانی برداشت شده بود با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی ساییده شد. در فاز بعد محلول بدست آمده در داخل لوله‌ی سانتریفیوژ ریخته شد و با دور ۵۰۰۰ در دقیقه و مدت زمان ۳۰۰ ثانیه همسان گردید. فاز رویی (شفاف) برداشته شد و به داخل بالون ژوژه ۲۵ میلی‌لیتر منتقل شد. مواد انتهایی لوله

1.Tap root length
2. Root volume
3. Root fresh weight
4. Root dry weight
5. Root area
6. Root diameter
7. Root surface area density

سانتریفیوژ به همراه ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد دوباره ساییده و سپس مجدداً سانتریفیوژ گردید. مجدداً فاز بالایی شفاف به بالون ژوژه اضافه شد. این عمل تا خاکستری شدن بافت برگ و رسیدن بالون به حجم ۲۵ میلی لیتر ادامه یافت محتوای رنگیزه‌های کلروفیلی و کاروتنوئیدی بر اساس روش استون سرد (Arnon, 1967) با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ٦٦٣، ٦٤٥ و ٤٧٠ نانومتر به ترتیب برای کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس با استفاده از روابط ذیل محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن نمونه تازه برآورد شد.

رابطه (۳) $$\text{Chlorophyll a}= [(19.3\times A663- 0.86\times A645)\ V/100W]$$

رابطه (٤) $$\text{Chlorophyllb}= [(19.3\times A645-3.6\times A663)\ V/100W]$$

رابطه (۵) $$\text{Cartenoides}= [100(A\ 470) -3.27\ (\text{mg chl a}) - 104\ (\text{mg chl b})/ 227]$$

V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، W= وزن تر نمونه برحسب گرم، A= جذب نور در طول موج‌های ٦٦٣، ٦٤٥ و ٤٧٠ نانومتر

اندازه‌گیری محتوای پرولین (Bates et al., 1973): نیم گرم ماده‌ی‌تر گیاهی را با هاون خرد کرده و به داخل تیوب آزمایش منتقل شد، سپس ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ آماده‌شده را به آن اضافه نموده و نمونه درون یخ قرار داده شد. تیوب را در ۱۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ نموده تا مواد اضافی از محلول جدا گردید. سپس مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصارهٔ صاف شده به داخل لوله‌ی آزمایش منتقل نموده و دو میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده و سپس مخلوط شد. نمونه‌ها را در حمام آب گرم به مدت یک ساعت حرارت داده و سپس مقدار چهار میلی‌لیتر تولوئن به محلول اضافه نموده و به مدت ۲۰ ثانیه توسط دست تکان داده شد. سپس در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

داده‌های بدست آمده حاصل از اندازه‌گیری‌ها و آزمایشات مختلف در محیط اکسل پردازش شد و سپس در محیط نرم‌افزار SAS با نسخه ۹/٤ و با رویه GLM مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها هم پس از انجام برش دهی اثر متقابل با روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار و در سطح احتمال ۵ درصد آنالیز گردید.

نتایج و بحث

خصوصیات مرتبط با جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم در تمام صفات مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که دامنه تغییرات شروع مؤثر جوانه‌زنی در ارقام در بین۲٦/۳۷ ساعت در رقم سرداری تا ۳٦/٦۹ ساعت در رقم کریم مشاهده شد. به عبارتی رقم سرداری نسبت به سایر ارقام سریع‌تر وارد فاز جوانه‌زنی شده است. مقایسه میانگین پایان مؤثر جوانه‌زنی نیز نشان داد که پایان دوره‌ی جوانه‌زنی در رقم سرداری در مقایسه با سایر ارقام زودتر به وقوع پیوست در حالی که دوره‌ی جوانه‌زنی در رقم آفتاب دیرتر به اتمام رسید (جدول ۲). مقایسه میانگین صفت یکنواختی جوانه‌زنی بین ارقام نشان داد که بالاترین یکنواختی جوانه‌زنی مربوط به رقم آفتاب و سرداری و پایین‌ترین آن مربوط به ارقام کریم و لاین۱۷ می‌باشد. بر اساس تعریف یکنواختی جوانه‌زنی عبارتست از فاصله‌ی زمانی که جوانه‌زنی از ۱۰ درصد به ۹۰ درصد حداکثر برسد، لذا هر چه یکنواختی جوانه‌زنی از نظر عددی کمتر باشد آن رقم برتر است، به عبارتی بذور در دوره‌ی زمانی کوتاه‌تر

جوانه می‌زنند. نتایج هچنین نشان داد که بالاترین سرعت جوانه‌زنی در رقم سرداری و پایین‌ترین در ارقام آفتاب و کریم مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین درصد جوانه زنی نیز حاکی از آن بود که بین ارقام از نظر درصد جوانه‌زنی تفاوت چشم‌گیری وجود ندارد.

هر که چند درصد جوانه‌زنی از پارامترهای مهم جوانه‌زنی است اما از روی این پارامتر نمی‌توان یکنواختی جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی را اندازه‌گیری کرد. زیرا ممکن است که یک توده‌ی بذری از درصد جوانه‌زنی بالایی برخوردار باشد اما از سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی پایین‌تری برخوردار باشد. از آنجایی که جوانه‌زنی در سه مرحله صورت می گیرد. بذرها در مرحله دوم و سوم به کمبود اکسیژن حساس هستند لذا شاید بذور جوانه بزنند اما رشد گیاهچه به دلیل کمبود اکسیژن طبیعی نخواهد بود. غرقاب نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد و تحت ۲۱ روز غرقاب نیز متوقف گردید.

بررسی صفات ریشه (حجم ریشه): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر طول دوره ماندابی ، رقم و اثر متقابل رقم در ماندابی بر تمامی صفات مربوط به ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳).

با افزایش سطوح تنش حجم ریشه کاهش یافت و به نحوی که بیشترین حجم ریشه در شاهد و کم‌ترین آن در تنش شدید مشاهده شد. با این حال تفاوت بین ارقام در سطوح تنش شاهد و ضعیف بیشتر از تنش شدید بود. اگر رقم کوهدشت را در سطح شاهد مستثنی کنیم، رقم کریم در سطوح تنش حجم ریشه بالاتری را نسبت به سایر ارقام داشت به عبارتی این صفت در رقم کریم کمتر تحت تاثیر تنش ماندابی قرار گرفت (جدول ٤). ضمن اینکه در شرایط بدون ماندابی کمترین حجم ریشه نیز به ارقام قابوس، سرداری اختصاص داشت. از طرفی در تنش ۱۰ روزه ماندابی، بیشترین حجم ریشه را مثل تیمار شاهد ماندابی در رقم شاهد مشاهده شد. نکته قابل توجه اینکه لاین ۱۷ تنها رقمی بوده که در تنش ۱۰ و ۲۰ روزه سطح حج ریشه خود را د رهمان حد متوسط خود در مقدار نزدیک به شاهد حفظ کرد. این نتایج با نتایج آزمایشات قوجق دردی و همکاران (Ghojoghdordi et al., 2016) مطابقت نداشت زیرا در آزمایشات ایشان دوره‌های ماندابی بر صفت حجم ریشه اثر معنی‌داری نداشت و ممکن است بدلیل نوع گیاه مورد آزمایش باشد که در حوالی برکه‌ها و آبگیرها رویش دارد که نسبت به شرایط ماندابی منطقه متحمل‌تر است. در نتایج آزمایشات پردل و همکاران (Pordel et al., 2017) تنش ماندابی باعث کاهش صفات ریشه اعم از حجم ریشه گردید.

طول ریشه: به‌طورکلی با افزایش سطوح تنش طول ریشه در تمام ارقام کاهش یافت و رقم زاگرس در سطح عدم تنش بیشترین طول ریشه را دارا بود در حالی‌که در تنش ماندابی شدید از طول ریشه کمتری برخوردار بود و رقم کوهدشت با وجود داشتن بالاترین طول ریشه در سطح تنش متوسط در سطح تنش ماندابی شدید نیز از بالاترین طول ریشه برخوردار بود. هم‌چنین در سطح عدم تنش بین ارقام اختلاف معنی‌دار بیشتری نسبت به سایر سطوح دیگر مشاهده شد (جدول ٤). نکته قابل توجه اینکه رقم لاین ۱۷ هم در حالت شاهد و هم در دو سطح تنش از کمترین طول ریشه برخوردار بود این درحالی بود که همین رقم از حجم ریشه بالاتری در همین سطوح تنش برخودار بود . لذا این بیانگر آن است که احتمالا رابطه معکوسی بین طول وحجم ریشه در پاسخ به تنش غرقابی وجود داشته باشد. همچنین این اختلاف در طول ریشه بیان‌گر این است که این صفت علاوه بر ژنتیک تحت تاثیر محیط هم قرار می‌گیرد. در آزمایشات پردل و همکاران (Pordel and et al., 2017) و قبادی و همکاران (Ghobadi and et al., 2006) با افزایش تنش ماندابی طول ریشه کاهش یافت که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت.

وزن خشک ریشه: نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش سطوح تنش وزن خشک ریشه در تمام ارقام کاهش یافته است. لاین ۱۷ در تیمار شاهد ماندابی و تیمار ۱۰ روزه ماندابی دارای بالاترین وزن خشک ریشه و بطور بلعکس در تیمار ۲۰ روزه این برتری را از دست داد وجایگاه خود را به تیمار کوهدشت داد. در تیمار شاهد کمترین وزن خشک ریشه در رقم آذر ، در تنش ۱۰ روزه در ارقام آذر، سرداری، گنبد، آفتاب و زاگرس و در تیمار ۲۰ روزه در لاین ۱۷مشاهد شد (جدول ٤). این نتایج پاسخ متفاوت ارقام به تنش غرقابی از لحاظ وزن خشک ریشه را نشان می‌دهد. لاین ۷ با کمترین طول ریشه در تیمارهای شاهد، ۱۰ روزه و ۲۰ روزه بطور بلعکس بالاترین میزان وزن خشک یشه را در تمیار شاهد غرقابی و تیمار ۱۰ روزه تنش بخود اختصاص داد و این بیانگر رابطه عکس وزن خشک ریشه با طول ریشه و تاثیرپذیری بیشتر وزن خشک ریشه از حجم ریشه است. در آزمایش علیخانی و اصفهانی (Alikhani Fard., Esfahani. 2010) بر روی اثر مصرف تری‌سیکلازول بر روی گیاهچه‌های کلزا در شرایط تنش ماندابی بیان شد که اعمال تنش ماندابی باعث کاهش کلیه صفات ریشه در گیاهچه‌های کلزا گردید.

سطح ریشه: با افزایش سطوح تنش سطح ریشه در تمام ارقام کاهش یافت. در سطح شاهد ماندابی رقم کوهدشت دارای بیشترین سطح ریشه و رقم سرداری از کمترین مقدار سطح ریشه برخوردار بود. این نتایج با مقادیر مربوط به حجم بالای رقم کوهدشت و حجم کم رقم سرداری در همین سطح تیماری قابل پیش بینی بود. در سطح دوم تنش نیز همین روند ولی با ارقام متفاوت برقرار بود. در تنش ۱۰ روزه ماندابی رقم کریم و آذر به ترتیب از بالاترین و پایین‌ترین سطح ریشه برخوردار بودند، این در حالی است که در سطح تنش ۲۰ روزه بالاترین سطح ریشه مربوط به رقم کریم ولی بطور متفاوت کمترین سطح ریشه در لاین ۱۷ مشاهده شد. این درحالی بود که این رقم دارای بالاترین حجم ریشه بود(جدول ٤). کاهش ذخایر ریشه در شرایط تنش ماندابی ، زرد شدن و ریزش برگ‌ها در این شرایط، نتیجه غیرفعال شدن ریشه‌ها برای جذب آب و عناصر غذایی از خاک و انتقال آن‌ها به اندام‌های هوایی است که محل سنتز مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای فعل و انفعالات زیستی گیاه می‌باشند. بدیهی است در این شرایط گیاه دچار ضعف عمومی شده و بیوماس ریشه و اندام هوایی متعاقب آن به شدت کاهش می‌یابد (Ganjali et al., 2008).

قطر ریشه: نتایج مقایسه میانگین همچنین نشان داد که رقم کریم در سطح شاهد و تنش ۱۰ روزه دارای بیشترین قطر ریشه بود. این در حالی بود که در سطح تنش ۲۰ روزه بیشترین قطر ریشه مربوط به لاین ۱۷ بود. کمترین قطر ریشه در حالت شاهد نیز به رقم آذر اختصاص داشت و این در حالی بود که بین سایر ارقام از لحاظ قطر ریشه اختلاف معنی داری مشاهد نشد. نتایج همچنین نشان داد که در سطح تنش ۱۰ روزه کمترین قطر ریشه در ارقام مروارید، آذر، سرداری، گنبد، لاین ۱۷ و آفتاب دیده گزارش شد (جدول ٤). با افزایش سطوح تنش کاهش اندکی در قطر ریشه تمامی ارقام مشاهده شد. لذا می‌توان بیان داشت که این صفت بیشتر تحت تأثیر ژنتیک است. در آزمایشی که علیخانی و اصفهانی (Alikhani and Esfahani., 2010) بر روی تأثیر مصرف تری‌سیکلازول بر روی گیاهچه‌های کلزا در شرایط تنش ماندابی انجام دادند؛ بیان داشتند که کلیه صفات اعم از چگالی سطح ریشه، طول ریشه، سطح ریشه، حجم ریشه و قطر ریشه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند و اعمال تنش ماندابی باعث کاهش کلیه صفات ریشه در گیاهچه‌های کلزا گردید.

چگالی سطح ریشه: نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ٤) نشان داد که رقم کوهدشت در تمامی سطوح تیمار ماندابی بالاترین چگالی را داشت. کمترین مقدار چگالی ریشه نیز در حالت شاهد در رقم گنبد، در تنش ۱۰ روزه غرقابی در ارقام مروارید، آذر، گنبد، سرداری، لاین ۱۷ و آفتاب مشاهده شد.در تنش ۲۰ روزه نیز کمترین چگالی

ریشه مربوط به ارقام، زاگرس، لاین ۱۷ و آذر بود. با افزایش سطوح تنش چگالی سطح ریشه کاهش یافت. مهم‌ترین تأثیر تنش ماندابی ، افزایش تنفس بی‌هوازی است. در این شرایط به دلیل پایین بودن میزان تأمین انرژی مورد نیاز گیاه، بافت ریشه سریعاً از کربوهیدرات تخلیه شده و گرسنگی کربوهیدرات در ریشه حادث می‌شود، در نتیجه وزن ریشه به شدت کاهش می‌یابد (Mounda et al., 2011).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات جوانه‌زنی ارقام گندم تحت شرایط تنش غرقابی

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات				
		سرعت جوانه‌زنی (برساعت)	یکنواختی‌جوانه‌زنی (ساعت)	شروع مؤثر جوانه‌زنی(ساعت)	پایان مؤثر جوانه‌زنی(ساعت)	درصد جوانه‌زنی
رقم	٦	۰/۰۰۲۰۹**	۱۰٤۷/۳۷**	۸۱۳/۹۲**	۱٤۸٤/۵۹**	۹۱۳/۵۰**
خطا	۱۸	۰/۰۰۱٤٦	٦۸٤/۵٤	٦۵/٦۳	۵۹٦/۲۳	۱۰۰۹/۲۵
ضریب	--	۹/۸۱	۱۷/۳٦	٦/۵۵	۹/۰۰	٤/٦۳

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مرتبط با ارقام گندم

رقم	سرعت جوانه‌زنی (برساعت)	یکنواختی جوانه‌زنی (ساعت)	شروع مؤثر جوانه‌زنی (ساعت)	پایان مؤثر جوانه‌زنی (ساعت)	درصد جوانه‌زنی
آفتاب	۰/۰۲۳^{b}	۲۳/٤۲^{a}	۳۲/۱۰^{b}	۵٤/۳۵^{a}	۹۸/۵۰^{ab}
آذر	۰/۰۲۵^{ab}	۱۹/۲۳^{b}	۲۷/۹۰^{d}	٤٦/۲٦^{bc}	۹۳/۵۰^{b}
قابوس	۰/۰۳۰^{a}	۱۸/۷۵^{b}	۲٦/۳۷^{e}	٤۵/۲۹^{c}	۹٤ ^{ab}
کریم	۰/۰۲۳^{b}	۱۳/۰۲^{c}	۳٦/٦۹^{a}	٤۹/۷۱^{b}	۹٦/۷۵^{ab}
کوهدشت	۰/۰۲٤^{ab}	۱۷/٤۵^{bc}	۳۰/۰۲^{c}	٤۷/٦۱^{bc}	۹۹/۲۵^{a}
لاین	۰/۰۲٦^{ab}	۱۹/۲۳^{ab}	۲٦/٤٤^{e}	٤٦/٤٦^{bc}	۹٤/۷۵^{ab}
سرداری	۰/۰۳۱^{a}	۱۸/۲۷^{b}	۲٦/۰۵^{e}	٤٤/۸۵^{c}	۹۸/۵۰^{ab}
LSD(0.05)	۰/۰۳۱	۵/۷۵	٤/٦۷	٤/۸۵	۵/۸۹

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات ریشه ارقام گندم تحت تنش ماندابی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		چگالی سطح ریشه	قطر ریشه	سطح ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	طول ریشه	حجم ریشه
ماندابی	۲	٤۱/۳٥٥۹٥**	۰/۰۰٥۳۷**	٤۹/۱۸۰۰۷**	۰/۰۷۹۳۱**	۲/۳۱۳۰۲**	۳٤/٤۳٤۰٥**	٥/٤۱۸۹۸**
رقم	۹	۲/۱۹۰۹۸**	۰/۰۰۰۲۹**	۱/۸۸۸**	۰/۰۰۲٥٦**	۰/۱۳۸۳۱**	۲/۰۸٦٦۸۹**	۰/۲۰۲۹۸**
رقم× ماندابی	۱۸	۰/۸۰۰٦۳**	۰/۰۰۰۱۷**	۰/۹۰٦۱۱**	۰/۰۰۰۹٤**	۰/۰٥۳۹۰**	۰/۰۷۹۷۸۹**	۰/۱۸۹۷۲**
خطا	۹۰	۰/۰٦۸۷۱	۰/۰۰۰۰٥	۰/۰۲٥۰٤	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۳۲۳	۰/۰۳۲۷٦	۰/۰۰۳۷۰
ضریب تغییرات (درصد)		٥/۳۹	۰/٦٦	۳/٥٥	۰/۸۷	۳/۷٥	۳/۰۸	۳/٦۱

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات ریشه ارقام گندم تحت تنش غرقابی

تنش	رقم	چگالی سطح ریشه (سانتی مترمربع در سانتی متر مکعب)	قطر ریشه (میلی‌متر)	سطح ریشه (سانتی مترمربع)	وزن خشک ریشه (گرم)	طول ریشه (سانتی متر)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)
شاهد	کوهدشت	۲۲/٦۷۰^{a}	۰/۲۲۷٥^{bc}	٤۰/۸۲٥^{a}	۰/۳۱۰۰^{bc}	٦۰/۷۲٥^{ab}	٤/۳۷٥۰^{a}
	کریم	٤۷/۱٥^{ab}	۰/۲٦۰۰^{a}	۳۷/۸۱٥^{b}	۰/۳٤۰۰^{ab}	٥۸/۱۲٥^{b}	۳/۹۳۷٥^{ab}
	قابوس	۳٦/۹۲۸^{c}	۰/۲٥٥۰^{ab}	۲٦/۱۸۳^{de}	۰/۲۷٥۰^{cd}	٤٦/۰۲٤^{c}	۲/۳۷٥۰^{e}
	مروارید	۳۰/٦۱۰^{d}	۰/۲٥٥۰^{ab}	۲۷/۷٤۳^{d}	۰/۲۳٥۰^{d}	۳۸/۰۷٥^{d}	۳/۲۲٥۰^{cd}
	آذر	۲۰/۹٦۳^{f}	۰/۲۰۰۰^{c}	۲٤/۳۰٥^{ef}	۰/۱٦۰۰۰^{e}	۳۳/۱۲٥^{ef}	۲/۸٥۰۰^{d}
	سرداری	۳۰/٦۱۰^{d}	۰/۲٤۲٥^{ab}	۲۳/۲٥۳^{f}	/۲٦۲۰^{d}	۳٦/۲٥۰^{ed}	۲/۳۷٥۰^{e}
	گنبد	۲۷/۷۱۰^{de}	۰/۲۲۷٥^{bc}	۲۷/۰۰٥^{de}	۰/۱٦۲٥^{e}	۳۱/٤۲٥^{fg}	۳/۷۰۰۰^{b}
	لاین ۱۷	٤۹/۸٦۰^{a}	۰/۲٥۷٥^{ab}	۲۳/۱٥٥^{f}	۰/۳٥٥۰^{a}	٤۰/۳٥۰^{g}	۲/۱۲٥۰^{e}
	آفتاب	۳۲/۹٦۰^{cd}	۰/۲٤٥۰^{ab}	۳۲/٤٥۸^{c}	۰/۲٦۲۰^{d}	٤۸/۱۰۰^{c}	۳/٥۰۰۰^{bc}
	زاگرس	۳٦/۹۲۰^{c}	۰/۲٥٥۰^{ab}	۳۷/٥۸۹^{b}	۰/۲٥٥۰^{d}	٦۲/۱۲٥^{a}	۳/٦۲٥۰^{bc}
LSD 0.05		٥/٥٥۰	۰/۰۳۲	۲/۷٥	۰/۰٤۰۲	۳/۹٦	۰/٤٦
تنش ۱۰ روز	کوهدشت	۲۸/۷۸٥^{a}	۰/۱۹۲۰^{bc}	۲۷/۲۱^{b}	۰/۱۳۲۰^{b}	٤٥/۰۰۰^{a}	۲/٤۷۸٥^{b}
	کریم	۲٥/٥۱٥^{ab}	۰/۲۲۷٥^{a}	۲۹/۳۸۳^{a}	۰/۱۲۲۰^{bc}	۳٥/٥۷٥^{bc}	۳/۸۷٥۰^{a}
	قابوس	۲٦/٦۹۸^{ab}	۰/۲۰۲٥^{ab}	۲٦/٥۰^{b}	۰/۱۳٥۰^{b}	۳۷/۹۷٥^{b}	۲/۰۲٥۰^{c}
	مروارید	۱۸/۷۳۳^{c}	۰/۱۸۷٥^{c}	۱۹/۹۷^{de}	۰/۱۳۰۰^{b}	۳۱/۷۷٥^{def}	۱/٤۲٥۰^{d}
	آذر	۲۰/۰۷۰^{c}	۰/۱۸۷۰^{c}	۱۳/۳۰^{f}	۰/۰۹٥۰^{d}	۳۲/۹٥۰^{cde}	۰/٥۰۰۰^{f}
	سرداری	۱۷/۸۷٥^{c}	۰/۱۸٥۰^{c}	۲۱/۹٦^{c}	۰/۰۹۲٥^{d}	۳۱/۰٥^{ef}	۲/۰۰۰^{c}
	گنبد	۱۸/٥٤۰^{c}	۰/۱۸۷٥^{c}	۱٤/٤٥^{f}	۰/۰۸۲٥^{d}	۳۱/٤٥۰^{def}	۰/۹۰۰۰^{e}
	لاین ۱۷	۱۸/۱۹۸^{c}	۰/۱۸۷٥^{c}	۱۰/۱٤^{g}	۰/۱۸۲۰^{a}	۲۹/۸۲۰^{f}	۳/۸۰۰۰^{a}
	آفتاب	۱۷/۹٦٥^{c}	۰/۱۹۲٥^{c}	۱٦/۸۰^{e}	۰/۰۹٥۰^{d}	۳۰/٥۲^{lef}	۱/۱۲٥۰^{e}
	زاگرس	۲۳/۷۷۸^{b}	۰/۲۲۲٥^{ab}	۱۹/٥۷۰^{d}	۰/۰۹۷۰^{d}	۳٤/۳٥۰^{cd}	۱/٥۲٥۰^{d}
LSD 0.05		۳/۳۹۸	۰/۰۲۲	۱/۷٦	۰/۰۲۷	۲/۹۹	۰/۲٦۲

تنش ۲۰ روز	کوهدشت	۱۸/۲٦۳^{a}	۰/۲۰۲٥^{abc}	۱۰/۳۰٥^{cde}	۰/۰۹۷۰^{a}	۲۸/٥۲٥^{a}	۰/٦۰۰۰^{c}
	کریم	۱۷/۱۱۲^{ab}	۰/۱۹۷۰^{bcd}	۱۳/٥۳۰^{a}	۰/۰۹۷٥^{ab}	۲۷/۲۲٥^{ab}	۱/۰۷٥۰^{ab}
	قابوس	۱۲/٥۸۸^{ed}	۰/۱۸٥۰^{cd}	۱۰/٦۷۳^{bcd}	۰/۰٦٥۰^{de}	۲۱/٦۷٥^{ed}	۰/۸۲٥۰^{c}
	مروارید	۱٥/۲۲۸^{bc}	۲۱٥۰^{ab}	۹/۱۷۸^{def}	۰/۰۸۰۰^{bcd}	۲۲/۱٥۰^{cde}	۰/٦۰۰۰^{c}
	آذر	۱۲/۳۳٥^{e}	۰/۱۸۰۰^{d}	۸/٤۱۸^{f}	۰/۰٦٥۰^{de}	۲۲۱/٥۷٥^{ed}	۰/٥۲٥۰^{c}
	سرداری	۱٤/٥٤۰^{bcde}	۰/۱۸٥۰^{cd}	۱۲/۱۷٥^{ab}	۰/۰۷۲۰^{d}	۲٤/۸۷٥^{bc}	۰/۹٥۰۰^{ab}
	گنبد	۱٤/۳۸۰^{cde}	۰/۱۹٥۰^{cd}	۱۱/٥۲۳^{bc}	۰/۰۷۰^{de}	۲۳/٥۲٥^{cd}	/۹۰۰۰^{c}
	لاین ۱۷	۱۲/۳۰۳^{e}	۰/۲۱۷۰^{a}	۸/۳٥۰^{f}	۰/۱۱۰۰^{a}	۱۹/۹۷۰^{e}	۲/٥٥۰۰^{a}
	آفتاب	۱٥/۱٦٥^{bcd}	۰/۲۰۲۰^{abc}	۸/۷۸٥^{ef}	۰/۰۷۷۰^{cd}	۲۲/٤۰۰^{cde}	۰/٥٥۰۰^{c}
	زاگرس	۱۲/۳۰۳^{e}	۰/۱۹٥۰^{cd}	۸/٤٦۸^{f}	۰/۰٥۲۰^{e}	۲۰/۳۲۰^{e}	۰/٥۷٥۰^{c}
LSD 0.05		۲/٦۳	۰/۰۱۹	۱/۷٥	۰/۰۱۸۰	۲/۸۷	۰/۱۸۲

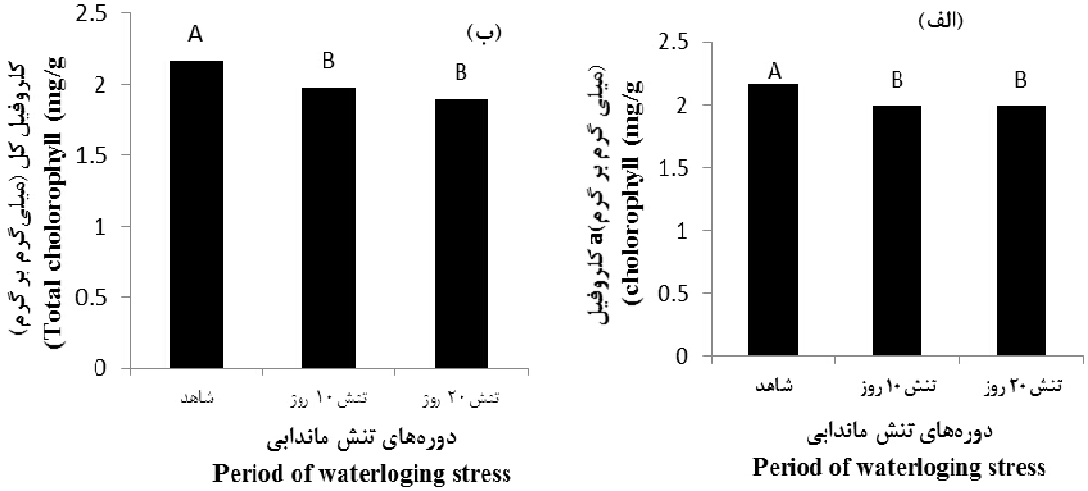
نتایج صفات فیزیولوژیک: نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ٥) نشان داد که اثر تنش غرقابی بر محتوای رنگیزه‌های کلروفیل a و کلروفیل کل ارقام در سطح احتمال ٥ درصد و بر آمینواسید پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود؛ از طرفی اثر رقم تنها بر محتوای کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بر سایر صفات اثر معنی‌داری را از خود نشان نداد. اثر متقابل رقم × تنش غرقابی بر محتوای رنگیزه‌های کلروفیل b و کاروتنوئیدها و آمینواسید پرولین نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

جدول ٥- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک ارقام گندم تحت تنش ماندابی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		محتوای پرولین	کاروتنوئیدها	محتوای کلروفیل کل	محتوای کلروفیل b	محتوای کلروفیل a
ماندابی	۲	۱/۱٦۱۸**	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۰٥۲٥*	۰/۰۰۱۷^{ns}	۰/٦۰٤*
رقم	۹	۰/۰٤٤۱^{ns}	۰/۰۰۹٦^{ns}	۰/۰۰۷۳^{ns}	۰/۰۰٦۳**	۰/۰۰۹۸^{ns}
رقم× ماندابی	۱۸	۰/۰٦٥۲**	۰/۰۲٥۳**	۰/۰۲۳۱^{ns}	۰/۰۰۷٥**	۰/۰۲۱۸^{ns}
خطا	۹۰	۰/۰۲۸۰	۰/۰۱۱۰	۰/۰۱٤۷	۰/۰۰۳۱	۰/۰۱٥۲
ضریب تغییرات (درصد)		٦/٤۲	٦/۷۷	۷/۰۲	٤/٥٥	۷/۸٥

محتوای رنگیزه‌های کلروفیلی: نتایج مقایسه میانگین برش دهی اثر متقابل رقم × تنش ماندابی (جدول ٦) نشان داد که پاسخ ارقام از نظر محتوی کلروفیل b در هر سطح تنش متفاوت بود(جدول ٦). در تیمار شاهد، بالاترین میزان کلروفیل b در رقم سرداری (۰/۷۸٥ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) مشاهده شد. و کمترین مقدار مربوط به ارقام لاین ۱۷، قابوس، گنبد، مروارید و زاگرس رقم سرداری، کوهدشت و زاگرس بود. از طرفی دیگر تنش ماندابی دارای اثر معنی داری بر محتوای کلروفیل a و کل بود، به نحوی_که بالاترین مقدار کلروفیل a و کل در تیمار شاهد و کمترین مربوط به تنشهای ماندابی ۱۰ و ۲۰ روزه بدون اختلاف معنی‌دار ین این دو تیمار تنشی بود (شکل ۱ الف و ب). در همین راستا سعیدی‌پور و همکاران (۱۳۹۹) گزارش دادند که محتوای رنگیزه‌های کلروفیل b و کاروتنوئیدهای دو

گونه نیلوفرپیچ و خربزه‌وحشی بیشتر از کلروفیل a تحت تاثیر ترکیبات دگرآسیب بقایای اویارسلام کاهش یافت. معمولاً محتوای کلروفیل b به‌دلیل واکنش گیاه برای غلبه بر تنش‌ها از جمله تنش ماندابی با توجه به نقش محافظتی آن‌ها افزایش می‌یابد. البته در این مطالعه به‌نظر می‌رسد که آسیب ناشی از تنش بر محتوای کلروفیل b بیش از اندازه بوده است که این سیستم قادر به واکنش مناسب نبوده و فعالیت آن‌ها کاهش یافت. نتایج همچنین حاکی از این بود که در سطح تنش ۱۰ روزه ماندابی، بالاترین میزان کلروفیل b در رقم کوهدشت و کمترین آن مربوط به ارقام مروارید، کریم، گنبد و لاین ۱۷ بود. در تیمار تنش ۲۰ روزه ماندابی نیز بطور متفاوت این بار بیشترین میزان کلروفیل b در رقم زاگرس گزارش شد و بین سایر ارقام اختلافی از نظر محتوی کلروفیل b وجود نداشت. در مجموع نتایج نشان می‌دهد که روند شکسته شدن و تخریب رنگیزه‌های کلروفیلی در بین ارقام در سطوح مختلف تنش در زمانی طولانی‌تری اتفاق می‌افتد؛ همین امر باعث می‌شود که گیاه کارایی خود را حفظ کند. هم‌چنین به هنگام وقوع تنش در ریشه‌ها آئرانشیم تشکیل می‌شود که همین امر موجب می‌شود، کربوهیدرات‌ها به‌خوبی برای گیاه تأمین و گیاه در این شرایط خود را حفظ نماید. بررسی‌های انجام شده در گیاه ذرت نشان داده است که تنش ماندابی محتوای رنگیزه‌های کلروفیلی به‌ویژه b را کاهش می‌دهد (Yordanova et al., 2003). مطالعه بر روی گیاهان مختلف از جمله ژنوتیپ‌های مختلف ذرت نشان می‌دهد که کلروفیل b نسبت به کلروفیل a حساسیت بیشتری به تنش غرقابی دارد (Ashraf., 2003; Zaidi et al., 2003). بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که سطوح تنش غرقابی در بین ارقام، ویژگی‌ها و خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام مورد بررسی موجب مقاومت و حساسیت در گیاهان هدف می‌شود. غلامعلی‌پور علمداری و دئوکله (Gholamalipour Alamdari and Deokule, 2009) گزارش نمودند که کلروفیل کل برگ پرچم رقم طارم تحت تنش دگرآسیب علف‌های هرز اویارسلام (*Cyperus difformis*) و تیرکمان آبی (*Sagittaria trifolia*) به‌شدت کاهش یافت.



شکل ۱- مقایسه میانگین میزان کلروفیل a (الف) و کلروفیل کل (ب) در سطوح تنش ماندابی

محتوای کاروتنوئیدها: نتایج مقایسه میانگین برش دهی اثر متقابل رقم × تنش ماندابی برای میزان کارتنوئیدها نشان داد که پاسخ ارقام از نظر محتوی کارتنوئیدی در هر سطح تنش متفاوت بود(جدول ٦). در تیمار شاهد، بالاترین میزان کارتنوئیدی در رقم سرداری(۱/۷۲۲ میلیگرم بر گرم وزن تر گیاه) مشاهده شد و کمترین مقدار کارتنوئید در رقم

زاگرس دیده شد(۰/۹۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه). در سطح تنش ۱۰ روزه ماندابی محتوی کارتنوئیدی ارقام تغییر پیدا کرد و بالاترین مقدار کارتنوئید در رقم کوهدشت و کمترین آن در رقم گنبد گزارش شد. در سطح تنش ۱۰ روزه همچنین،بعد از رقم کوهدشت، ارقام قابوس و آفتاب در رتبه های بعدی قرار داشتند. در سطح دوم تنش ماندابی (۲۰ روزه) مشابه سطح تنش۱۰ روزه ماندابی ، بیشترین میزان کارتنوئید در رقم کوهدشت و کمترین کارتنوئید در رقم گنبد گزارش شد. از آنجائی‌که، حفظ رنگیزه‌ها به‌خصوص کاروتنوئیدها در طی تنش غرقاب به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی است، که باعث می‌شود میزان فتوسنتز کمتر کاهش پیدا کند. کاروتنوئیدها نقش آنتی‌اکسیدانی را در شرایط تنش دارا می‌باشند در بافت‌های فتوسنتزی کاروتنوئیدها از طریق فروکش کردن سریع وضعیت تریپلت کلروفیل (برانگیخته کلروفیل)، حفاظت نوری را انجام می‌دهند. با توجه به نتایج، کاهش محتوای کاروتنوئیدها نسبت به رنگیزه کلروفیل b از لحاظ درصد بازدارندگی کمتر بوده است. کاهش محتوی کاروتنوئید می‌تواند به‌دلیل اکسیده شدن آن‌ها توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آن‌ها باشد. کاهش کاروتنوئید به دلیل تنش می‌تواند کاهش کلروفیل را در پی داشته باشد (Rasooli, 2011).

آمینواسید پرولین: نتایج مقایسه میانگین برش دهی اثر متقابل رقم × تنش ماندابی برای میزان پرولین نشان داد که پاسخ ارقام از نظر محتوی پرولین در هر سطح تنش متفاوت بود(جدول ٦). در تیمار شاهد، بالاترین میزان کارتنوئیدی در رقم لاین ۱۷(۷۷/۱۰ میلیگرم بر گرم وزن تر گیاه) مشاهده شد و کمترین مقدار پرولین در رقم قابوس دیده شد (۲٦/۸٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه). در سطح تنش ۱۰ روزه غرقابی محتوی پرولین ارقام بطور متفاوتی تغییر پیدا کرد و بالاترین مقدار پرولین در رقم کریم و کمترین آن در رقم لاین ۱۷ گزارش شد. در سطح تنش ۱۰ روزه همچنین،بعد از رقم کوهدشت، ارقام قابوس و آفتاب در رتبه های بعدی قرار داشتند. در سطح دوم تنش غرقابی(۲۰ روزه) بطور متفاوت از تنش ۱۰ روزه ماندابی ، بیشترین میزان پرولین در رقم سرداری و کمترین کارتنوئید در رقم کریم گزارش شد. از آنجائی‌که، حفظ رنگیزه‌ها به‌خصوص مطابق نتایج، محتوای اسیدآمینه پرولین برخلاف محتوای رنگیزه‌های کلروفیل b و کاروتنوئیدها در تیمار ۱۰ و ۲۰ روز تنش از ماندابی به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد. در سطح شاهد لاین ۱۷ بالاترین و رقم مروارید از کمترین محتوای آمینواسید پرولین برخوردار بودند. اما در سطح تنش ۱۰ روز، رقم کریم و هر دوی رقم مروارید و لاین ۱۷، بیشترین و کمترین محتوای این اسمولیت را دارا بودند. از سوی دیگر، بیشترین و کمترین آمینواسید پرولین در سطح تنش ۲۰ روز از ماندابی به‌ترتیب مربوط به رقم کریم و هر دو رقم کوهدشت و سرداری بود. نتایج هم‌چنین نشان داد که ارقام مختلف تحت دو سطح تنش ۱۰ و ۲۰ روز از ماندابی به‌طور نسبی واکنش یکسانی را نشان دادند (جدول ٦).

کاهش محتوای پرولین نمونه‌های ۱۰ و ۲۰ روز از تنش و به‌طور نسبی یکسان بودن این دو سطح از تنش متوسط و شدید در مقایسه با شاهد بدون تنش احتمالاً نشان‌دهندهٔ کاهش نقش و اثر آمینواسید پرولین در برطرف کردن اثر منفی تنش ماندابی در مراحل نهایی از رشد ارقام گندم بوده است. این نتیجه مطابق نتیجه صبورا و همکاران (Saboora et al., 2016) می‌باشد. به‌طورکلی تنظیم اسمزی در گیاهان مکانیسم عمده اجتناب از تنش‌ها از جمله خشکی، شوری، ماندابی و... می‌باشد که شدت انجام آن به‌سرعت و میزان توسعه تنش، نوع و سن اندام گیاهی و تنوع ژنتیکی درون و بین گونه‌ای بستگی دارد (Bajji et al., 2001). علاوه بر تنظیم اسمزی، پرولین به عنوان یک محافظ در برابر تنش عمل می‌کند به این ترتیب که به‌طور مستقیم با ماکرومولکول‌ها اثر متقابل داشته و از

این طریق به حفظ شکل و ساختار طبیعی آن‌ها تحت شرایط تنش کمک می‌کند (Kuznetsov and Shev yakova,1999).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه نتایج برررسی فیزیولوژیکی و حصوصیات مرتبط با ریشه، شواهد حاکی از اثر کاهنده گی تنش ماندابی روی بیشتر صفات مورد مطالعه است و این بیانگر حساسیت اراقم گندم به تنش ماندابی است. در بین تمامی ارقام با توجه به بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و ریشه ای، بهترین ارقام، کوهدشت و کریم گزارش شدند.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تنش ماندابی بر صفات فیزیولوژیکی ارقام گندم مورد بررسی

تنش	رقم	محتوای پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	محتوای کاروتنوئیدها (میلی‌گرم برگرم وزن تر)	محتوای کلروفیل b (میلی‌گرم برگرم وزن تر)
شاهد	کوهدشت	٥٨/٧٢^{bcd}	١/٥٢٥٠^{abc}	٠/٥٣٠٠^{b}
	کریم	٤٩/٠٤^{bcd}	١/٦١٧٥^{ab}	٠/٥٧٥٠^{ab}
	قابوس	٢٦/٨٤^{d}	١/٤٩٠٠^{abc}	٠/٤٧٥٠^{b}
	مروارید	٢٩/٧٣^{cd}	١/٥٠٠٠^{abc}	٠/٤٤٠٠^{b}
	آذر	٣٧/٧٣^{bcd}	١/٥٧٥٠^{abc}	٠/٥٨٠٠^{ab}
	سرداری	٥٢/١١^{abcd}	١/٧٢٢٥^{a}	٠/٧٨٧٥^{a}
	گنبد	٥٧/٥٠^{ab}	١/١٤٥٠^{cd}	٠/٤٢٢٥^{cb}
	لاین ١٧	٧٧/٠٩^{a}	١/٢٢٢٥^{bc}	٠/٥١٢٥^{b}
	آفتاب	٣٨/٠٤^{bcd}	١/٦١٥٠^{abc}	٠/٥٩٠٠^{ab}
	زاگرس	٥٤/٧٧^{abc}	٠/٩٢٥٠^{d}	٠/٤٢٥٠^{b}
LSD $_{0.05}$		٢٦/٢١	٠/٤٧٢	٠/٢٣٨
تنش ١٠روزه	کوهدشت	١٧/٥٠^{b}	١/٥٩٢٥^{a}	٠/٨٠٠٠^{a}
	کریم	٤٠/٩٧^{a}	١/٤٤٧٥^{abc}	٠/٤٦٥٧^{c}
	قابوس	٢٢/٥٢^{b}	١/٤٧٧٥^{ab}	٠/٤٩٥٠^{bc}
	مروارید	١٥/٧٤^{b}	١/٣٦٥٠^{bcd}	٠/٤٧٧٥^{c}
	آذر	٢٦/٨٣^{b}	١/٣١٧٥^{cd}	٠/٥٧٠٠^{bc}
	سرداری	٢٧/٩٢^{ab}	١/٤١٥٠^{bcd}	٠/٥٠٢٥^{bc}
	گنبد	١٩/٦٨^{b}	١/٣٠٠٠^{d}	٠/٤٦٢٥^{c}
	لاین ١٧	١٥/٢٢^{b}	١/٣٧٥٠^{bcd}	٠/٤٧٧٥^{c}
	آفتاب	٢٢/١٤^{b}	١/٤٦٧٥^{ab}	٠/٥٤٥٠^{bc}
	زاگرس	٢٤/١٠^{b}	١/٤٥٢٥^{abc}	٠/٦٢٢٥^{b}
LSD $_{0.05}$		١٣/٢٧	٠/١٤٦	٠/١٤١
تنش٢٠ روزه	کوهدشت	٣١/٦٣^{a}	١/٤٨٠٠^{ab}	٠/٤٢٢٥^{b}
	کریم	١٧/٨٥^{a}	٠/٩٤٧٥^{c}	٠/٤٧٢٥^{b}
	قابوس	٢٧/٣٤^{a}	١/٢٥٧٥^{bc}	٠/٣٩٠٠^{b}
	مروارید	٢٣/٥٠^{a}	١/٥٦٥٠^{ab}	٠/٤٦٠٠^{b}
	آذر	٢٢/٣٩^{a}	١/٣٤٧٥^{bc}	٠/٤٧٢٥^{b}

سرداری	۳۱/۸٦^{a}	۱/۳۱۷٥^{bc}	۰/٤۸۲٥^{b}
گنبد	۲۲/۳۸^{a}	۱/٤٤۷٥^{ab}	۰/٥۷۰۰^{b}
لاین ۱۷	۲۲/٦٥^{a}	۱/٤۱۰۰^{abc}	۰/٤۷۷٥^{b}
آفتاب	۲٦/۸۳^{a}	۱/٤٤۰۰^{ab}	۰/٥٥۷٥^{b}
زاگرس	۲۰/۷۱^{a}	۱/۸۸۲٥^{a}	۰/۸۰۷٥^{a}
$LSD_{0.05}$	۱٤/۹۱	۰/٤۹۰	۰/۲۳۹

Reference

Alikhani Fard, H. and Esfahani, M. 2010. The of Application of Tricyclazole on Water Logging Damage Alleviation in Canola Seedling. Electronic Journal of Crop Production, 3:1. 73-88

Alizadeh, A. 2006. Soil, water-plant relationship. Astane of Ghodse of Razavi Publication. 472p.

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: poly phenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, Rockville, 24: 1-24.

Ashraf, M. 2003. Relationships between leaf gas exchange characteristics and growth of differently adapted populations of Blu panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.) under salinity or waterlogging. Plant Science, 165: 69-75.

Bates, L. 1973. Rapid determination of free proline for water stress stadies. Plant & Soil. 39: 205-207.

Bajji, M., Lutts, S. and Kinet, J.M. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science, 160: 669-681.

Bernardino, D.F.M. and Carvalho, C.J.R. 2000. Physiological and morphological responses of *Barchiaria* spp. To flooding. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 35: 1954-1966.

Brisson, N., Rebiere, B., Zimmer, D. and Renalt, D. 2002. Response of the root system of winter wheat crop to water logging. Plant and Soil, 243: 43-55.

Ganjeali, A., Palta, J. and Turner, N.C. 2008. Effects of water logging on root and shoot growth of chickpea genotypes (*Cicer drietinum* L.). Gorgan, Journal of Agriculture. Science and Natural Resources, 15(3): 78-89.

Ghobad, M.E., Nadian. H., Bakhshandeh. A., Fathi. G., Gharineh. M.H. and Ghobadi. M. 2007. Stady of Root Growth, Biological Yield and Grain Yield of Wheat Genotypes under Waterlogging Stress during Different Growth Stages. Seed and Plant. Improvmental Journal, 22: 4. 513-527.

Ghojoghdordi, a., Esmaeili, m.m., Sattarian, a. and Rahemi karizaki, A. 2016. Investigation of the effects of flooding stress on ecological and physiological caractristics of plants (*Schoenoplectus triqueter* L.) palla. Journal of Aquatic Ecology, 6:1-11.

Gholamalipour Alamdari, E. and Deokule, S. S. 2009. Allelopathic effects of some weeds on growth and yield of paddy rice (Tarom variety) in northern Iran. Pakistan Journal of Weed Science Research, 15(2-3): 123-12.

Hampton, J. G., Tekrony, D.M. 1995. Handbook of Vigor Test Methods, The international seed testing association, Zurich. 117 p.

Hajabbasi, M.A. 2001. Tillage effects on soil compactness and wheat root morphology. Journal Agricultural of Sciences Technology, 3: 67-77.

Huang, B., Nesmith, D.S., Bridges, D.C. and Johnson, J.W. 1995. Responses of squash to salinity, waterlogging and subsequent drainage: I. Gas exchange, water relations, and nitrogen, Journal of Plant Nutrition, 18:127-140.

Kafi, M. and Mahdavi Damghani, A. 2001. Mechanisms of environmental stress resistance in plants. Ferdowsi University of Mashhad Publication. 236 p. (in Persian).

Khajehpoor, M. R. 2013. Principles and foundations of agriculture. Isfahan University of technology jihad. P:367.

Kocheki, A., Zand, A., Banayan Aval, M., Rezvani Moghaddam, P., Mahdavi Damghani, A., Jamiolahmadi, M. and Vesal, S. 2007. Plant Eco physiology, 938 p. (in Persian).

Kuznetsov, V.V. and Shev yakova, N.I. 1999. Prolin under stress: biological role, metabolism and regulation. Russian Journal of Plant Physiology, 46: 274-287.

Li, Ch., Yin, Ch. and Liu, Sh. 2004. Different responses of two contrasting *Populus davidiana* populations to exogenous abscisic acid application. Environmental and Experimental Botany, 51(3): 237-246.

Muanda, F., Soulimani, R., Diop, B. and Dicko, A., 2011. Study on chemical composition and biological activities of essential oil and extracts from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. Food Science and Technology 44:1865-1872.

Malekahmadi, F., Kalantari, Kh.M. and Torkzadeh, M. 2005. The effect of flooding stress on induction of oxidative stress and concentration of mineral element in pepper (*Caosicum annum*) plants. Iranian Journal Biology, 18: 2. 110-119.

Pordel, R., Kafi, M., Isfahani, M. and Nezami, A. 2017. Effect of duration and level of water logging stress and nitrogen fertilizer on vegetative traits of stevia (Stevia rebaudiana B.) in the climate of rasht. Environmental Stresses in Crop Sciences,. P:281-289.

Prasad, S., Ram, P.C. and Uma, S. 2004. Effect of waterlogging duration on chlorophyll content, nitrate reductase activity, soluble sugar sand grain yield of maize. Annual Review of Plant Physiology 18:1-5.

Ratsooli, F. 2011. Investigation of the effect of flood stress on physiological characteristics, yield and yield components in canola. Thesis M.Sc. Gorgan university of agricultural sciences and natural resources 15p. (In Persian with English Abstract)

Saboora, A., Barik Roo, N. and Sharifi, H. 2016. Changes in compatible osmolite contents in four wheat cultivars under water stress. Applied Biology, 29(1): 121-142. (In Persian with English Abstract)

Saeedipour, A., Gholamalipour Alamdari, E., Biabani, A., Avarseji, Z., Nakhzari Moghadam, A. 2020. Evaluation of allelopathic stress of *Cyperus esculentus* remains on some invasive weeds. Journal of Applied Biology. 33(4). 10.22051/JAB.2021.5296. (In Persian with English Abstract)

Soltani, A., Maddah Yazdi, V. 2010. Simple applications for teaching and research in agriculture. Society of ecological agriculture. 80 p.

Soltani, E., Kamkar, B., Galeshi, S., Akram Ghaderi, F. 2008. The effect of seed deterioration on seed reserves depletion and heterotrophic seedling growth of wheat. Jouranl of Agricultural Sciences and Natural Resources, 15: 1-5.

Steffens, D. Hütsch, B.W. Eschholz, T. Lošák, T. and Schubert, S. 2005. Water logging may inhibit plant growth primarily by nutrient deficiency rather than nutrient toxicity com. Plant Soil and Environment, 51: 545-552.

Zhang, H., Jing, L., Kui, W., Xinzhen, D. and Quanmin, L. 2009. A simple and sensitive assay for ascorbate using potassium ferricyanide as spectroscopic probe regent. Analytical Biochemistry, 388: 40-46

Yordanova, R., Christork, K. and Popora, L.P. 2003. Antioxidative oenzymes in barley plants subjected to soil flooding. Environmental and Experimental Botany, 51: 93- 101.

Younis, M.E., El-Shahaby, O.A., NematAlla, M.M. and Bastawisy, Z.M. 2003. Kinetin all eviates the influence of waterlogging and salinity on growth and affects the production of plant growth regulators in *V.sinensis and Zea mays* Agronomy, 23:277-85.

Zaidi, P., Rafique, S. and Singh, N. 2003. Response of Maize (*Zea mays* L.) genotypes to exsess soil moisture stress: Morpho-Physiological effects and basis of tolerance. Europian Journal of Agronomy. 19: 383-399.

Journal of Seed Research, Vol. 11, No. 2, Summer 2021

Effect of waterlogging stress in leaflet 3 stage of wheat cultivars on root and physiological traits of wheat

Sara Pirdehghan[1], Ali Rahemi-Karizaki[2], Nabi khaliliaqdam[3*], Ebrahim Gholamali Pouralamdari[4], Hossein Sabouri[5]

[1]M.Sc student of agro ecology, Gonbad Kavous University, Iran

[2, 4]Assistance Professor and corresponding author, Department of Plant Production, Gonbad Kavous University, Iran

[3]Assistant Professor, Agriculture department of Payame Noor University, Tehran. Iran,

[5] Associate Professor, Department of Plant Production, Gonbad Kavous University, Iran

Abstract

The first negative effect of waterlogging stress for the plant is the lack of oxygen in the soil. Reduction of available oxygen reduces the development of roots and aerial parts of the plant. In order to evaluate wheat cultivars in Golestan province under experimental oxygen restriction in December 2016 in the greenhouse of Gonbad Kavous University Faculty of Agriculture in a pot and to investigate the effect of waterlogging periods on root traits and physiological characteristics of seedlings of wheat cultivars as a factorial experiment in a completely factorial design. 3 flood levels (zero, 10 and 20 days) and 10 wheat cultivars (Aftab, Azar, Karim, Kuhdasht, Line 17, Sardari, Qaboos, Morvarid and Zagros domes) were performed in 4 replications. Results of germination test shosed that the highest germination percentaged was occurred in kohdasht and the most amount of germination rate was showed in sardari cultivar. The experimental results showed that the effect of waterlogging period, cultivar and cultivar interaction effect on waterlogging on all root traits was significant at 1% level and the effect of flooding stress on chlorophyll a and total chlorophyll at 5% probability level and proline at 1% probability level was significant. Were not significant on carotenoids. Also, the effect of cultivar was significant only on chlorophyll b trait at the level of 1% probability and did not show a significant effect on other traits. The interaction of cultivars in waterlogging on chlorophyll b, carotenoids and proline was significant at the level of 1% probability. Koohdasht cultivar had the highest root length, fresh root weight, root dry weight and root surface density compared to other cultivars and had less fluctuations in stress conditions than other cultivars. The rest was the highest. It is better not to use Azar and Line 17 cultivars in flooded conditions in the early stages of the plant and also Aftab cultivars in weak stress and Zagros in more severe stress. Sardari and Kuhdasht cultivars had the highest content of chlorophyll b and carotenoids at non-stress and 10-day levels, respectively, which produced the highest proline in severe stress.

Keywords: Chlorophyll, Index, Proline, Root

*Corresponding author; nkhaliliaqdam@yahoo.com