



دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

جلد بیست و هفتم، شماره سوم، ۱۳۹۹

۲۰۵-۲۲۷

<http://jopp.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jopp.2020.16740.2532

واکنش‌های فیزیولوژیک و ریخت‌شناسی دو رقم جو و نتاج حاصل از

تلاقی آن‌ها نسبت به اثرات سمی سرب

آزاده رحمنی^۱، *علی اصغری^۲، حسین جعفری^۳ و امید سفالیان^۲

^۱ دانشجوی دکتری ژنتیک بیومتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،

^۲ دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،

^۳ دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۲۶

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی خاک‌ها به وسیله فلزات سنگین یک اتفاق شایع ناشی از نتایج فعالیت‌های انسانی، کشاورزی و صنعتی است که یک مشکل اساسی در سراسر جهان می‌باشد. در میان فلزات سنگین، سرب پتانسیل تجمع خیلی سریع در لایه‌های سطحی خاک را داشته و با افزایش عمق خاک میزان تجمع آن کاهش پیدا می‌کند. از جمله اثرات سمی که سرب روی گیاهان می‌گذارد، می‌توان به کلروزه شدن، کاهش رشد، سیاه شدن سیستم ریشه، ممانعت از فتوسنتز، به هم زدن تعادل آب و مواد معدنی و تغییر وضعیت هورمون‌ها و اثر روی ساختار و نفوذپذیری غشا اشاره کرد. این مطالعه به منظور بررسی تأثیر سمیت عنصر سرب بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک جو و هم‌چنین شناسایی و انتخاب لاین‌های برتر جو تحت شرایط تنش فلز سنگین سرب انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش اثرات ریخت‌شناسی سه غلظت مختلف نیترات سرب (۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام) به همراه شاهد روی دو ژنوتیپ جو (Dom و Rec) در طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار بررسی شد. طول ساقه، طول ریشه، تعداد برگ، وزن تر ساقه، وزن تر ریشه، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه و در نهایت عملکرد زیستی تر و خشک اندازه‌گیری شد. بعد از مشاهده اختلاف بین دو والد در واکنش به مسمومیت به سرب، ۹۴ لاین اینبرد نوترکیب حاصل از تلاقی Dom و Rec در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلدان‌هایی به قطر بیست سانتی‌متر کاشته شدند. سپس، گیاهچه‌ها در مرحله ۲ تا ۳ برگی تحت تیمار با نیترات سرب به غلظت صفر (شاهد) و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام قرار گرفتند و ویژگی‌های فیزیولوژی و ریخت‌شناسی در هر دو شرایط تنش و نرمال اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج مرحله اول آزمایش نشان داد که بین دو رقم Dom و Rec در غلظت ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام از نظر میزان مقاومت به سرب اختلاف معنی‌داری وجود داشت و رقم Dom مقاومت‌تر نسبت به والد دیگر بود. طول ساقه، تعداد برگ، وزن خشک ساقه، عملکرد زیستی تر و خشک بیش‌تر از سایر ویژگی‌های تحت تأثیر سرب قرار گرفت. نتایج مرحله دوم آزمایش نشان داد که در تمام ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک اندازه‌گیری‌شده، بین لاین‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود

* مسئول مکاتبه: a_asghari@uma.ac.ir

داشت. بر مبنای همبستگی ژنوتیپی، رابطه مثبت و معنی‌داری بین میزان فتوسنتز با میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، CO_2 زیر روزنه‌ای و سبزیگی گیاه وجود داشت. هم‌چنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد زیستی تر و خشک با ارتفاع ساقه، طول ریشه، وزن‌تر ساقه، وزن‌تر ریشه، وزن خشک ریشه و تعداد برگ سبز وجود داشت. با استفاده از تجزیه کلاستر، اینبرد لاین‌های جو بر اساس ویژگی‌های مورد مطالعه در محیط نرمال به ۳ کلاستر و در شرایط تنش، به ۴ گروه تقسیم شدند. ژنوتیپ‌های ۲۴، ۴۰، ۴۱، ۴۴، ۴۸، ۷۸ و ۸۰ با بیش‌ترین میانگین در ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک در کلاستر ۳ تحت شرایط تنش قرار گرفتند که جزء ژنوتیپ‌های مقاوم به سرب می‌باشند و ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۸، ۱۵، ۲۱، ۲۵ و ۵۰ با کم‌ترین میانگین در ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک در کلاستر ۲ تحت شرایط تنش قرار داشتند و جزء ژنوتیپ‌های حساس به سرب بودند.

نتیجه‌گیری: از آن‌جایی که تنش با فلزات سنگین باعث اختلالات مهمی در گیاهان می‌شود، بنابراین شناخت ویژگی‌هایی که تحت‌تأثیر این‌گونه تنش‌ها قرار می‌گیرند و هم‌چنین روابط موجود بین این ویژگی‌های لازم و ضروری است. در این مطالعه فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای، طول ساقه، تعداد برگ زرد، وزن‌تر و خشک ساقه، عملکرد ریخت‌شناسی تر و خشک بیش‌تر از سایر ویژگی‌های، تحت‌تأثیر تنش با سرب قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه کلاستر، تعرق، لاین‌های نوترکیب، مقاومت و حساسیت، هدایت روزنه‌ای، همبستگی

مقدمه

اصلاح خاک، استفاده و تولید گیاهان مقاوم، که دارای سازوکارهای متنوعی برای سم‌زدایی فلزات سنگین و مقاومت به تنش ناشی از آن‌ها هستند، باشند. استفاده از جو به‌عنوان یک گیاه مدل آزمایشگاهی مناسب به نمایندگی از غله‌های دانه کوچک، از جمله گندم، دارای سابقه طولانی است چرا که ژنوم جو ساختاری کاملاً مشابه با سایر غلات دارد. از جمله ویژگی‌های خوب جو می‌توان به دیپلوئید بودن و ژنوم نسبتاً ساده در مقایسه با سایر گرامینه‌ها، اطلاعات ژنتیکی فراوان درباره آن، در دسترس بودن چندین توده نقشه‌یابی از آن و نیز غنی بودن ژرم‌پلاسم جو و تعدد بسیار زیاد ارقام و ژنوتیپ‌های آن اشاره کرد و هم‌چنین جو دارای پراکنش گسترده و سازگاری فیزیولوژیکی وسیع می‌باشد علاوه بر این طبیعت خودگرده‌افشان جو باعث ناتوانی از تولید هیبرید با سایر غلات نزدیک یا خویشاوندان وحشی آن شده است و این راهبرد مطلوبی است که مانع از گسترش ناخواسته تغییر ژنتیکی و یا ژرم‌پلاست تحت شرایط مزرعه‌ای می‌شود (۱۲).

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مشکلات اساسی محیط‌زیست است و به‌دلیل افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی، فلزات سنگین مانند جیوه، آهن، کادمیوم، آلومینیوم، سرب، منگنز در منابع مختلف یافت می‌شوند (۸). امروزه مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به‌خصوص کودهای فسفاته و نیتراته که حاوی عناصر سنگین مانند سرب، روی و کادمیوم می‌باشند، علاوه بر مشکلات اقتصادی خسارات زیادی را به محیط زیست وارد نموده است، بنابراین مصرف بی‌رویه این کودها موجب تجمع آلاینده‌ها در خاک، منابع آب و افزایش آن‌ها در گیاهان و زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌گردد (۲۷). مطالعه‌ای که در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ در ایران روی زمین با کشت گندم انجام گرفته است نشان می‌دهد که سرب و آرسنیک در اثر استفاده از کودهای شیمیایی افزایش قابل‌ملاحظه‌ای را در خاک و اندام هوایی گیاه نشان داده‌اند (۴). در سال‌های اخیر، به‌علت افزایش آلودگی زمین‌ها به فلزات سنگین، بسیاری از گیاهان از بین رفته‌اند. این سبب شده است تا پژوهشگران به فکر

که سرب روی گیاهان می‌گذارد، می‌توان به کلروزه شدن، کاهش رشد، سیاه شدن سیستم ریشه، ممانعت از فتوسنتز، به هم زدن تعادل آب و مواد معدنی و تغییر وضعیت هورمون‌ها و اثر روی ساختار و نفوذپذیری غشا اشاره کرد (۱۵ و ۱۸).

در مراحل مختلف رشد یک گیاه، واکنش به مسمومیت با سرب می‌تواند متفاوت باشد. ارزیابی تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی به‌ویژه در مراحل جوانه‌زنی و سبز شدن، عامل مهمی در انتخاب آن‌ها برای کشت در شرایط مختلف می‌باشد (۱).

بر اساس گزارش‌های قبلی (۹ و ۲۸) و آگاهی از مقاومت برخی از ژنوتیپ‌های جمعیت OWB به سمیت عنصر کادمیوم و با پیش‌فرض تأثیر منفی عنصر سرب بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و ریخت‌شناسی جو و وجود تفاوت‌ها در سطح واکنش ژنوتیپ‌ها و ارقام مختلف این گیاه به سرب، این مطالعه به منظور بررسی تأثیر سمیت عنصر سرب بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک جو و همچنین شناسایی و انتخاب لاین‌های برتر جو تحت شرایط تنش فلز سنگین سرب انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش اثر سمیت فلز سرب در چهار سطح (غلظت صفر (شاهد)، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام) روی دو والد جمعیت نقشه‌یابی جو (Dom و Rec) و ۹۴ لاین دابل‌هابلوئید حاصل از تلاقی آن‌ها (۷)، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی استان قزوین با میانگین دمای بین 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد و با رطوبت نسبی 65 ± 3 درصد، واقع در اقبالیه با طول جغرافیایی $36^{\circ}25'$ و عرض جغرافیایی $49^{\circ}90'$ و با ارتفاع ۱۲۷۸ متر از سطح دریا در سال‌های زراعی ۹۶-۹۷ و ۹۷-۹۸ انجام شد. در

بر اساس مطالعات انجام‌شده (۶، ۹، ۱۹ و ۲۸)، گیاه جو از جمله محصولات تأثیرپذیر از مسمومیت فلزات سنگین است که میزان حساسیت به این نوع مسمومیت می‌تواند تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی رقم متفاوت باشد. ارقام مختلف یک گیاه از نظر میزان تحمل به تنش‌های محیطی یکسان نیستند. بنابراین، اصلاح‌گران همواره به دنبال شناسایی ارقام متحمل به تنش برای گیاهان زراعی هستند. در بررسی ژنوتیپ‌های جو با میزان انباشت پایین کادمیم در دانه با مطالعه ۶۰۰ ژنوتیپ مشخص شد که تنوع ژنتیکی قابل‌ملاحظه‌ای در میان ژنوتیپ‌ها وجود دارد به‌طوری‌که دامنه تغییرات میزان انباشت کادمیم در دانه بین ۱۶/۰ تا ۲۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. تنوع ژنوتیپی بالا امکان تهیه ژنوتیپ‌هایی را برای استفاده در مکان‌هایی که دارای مقادیر بیش از حد کادمیم می‌باشند را از طریق انتخاب و اصلاح فراهم می‌کند (۶).

قره‌باغی و همکاران (۹) در بررسی واکنش‌های فیزیولوژیک شش ژنوتیپ جو نسبت به مسمومیت با دوزهای بالای کادمیم در مرحله گیاهچه دریافتند که ژنوتیپ‌های مختلف جو واکنش‌های بسیار متفاوتی نسبت به سطوح بالای مسمومیت با کادمیم نشان می‌دهند، ویژگی‌هایی مانند سبزی‌نگی و فتوسنتز بیش‌تر از سایر عامل‌ها تحت تأثیر کادمیم قرار گرفت و ژنوتیپ‌های حساس برخلاف ژنوتیپ‌های مقاوم، در غلظت‌های ۵ و ۱۰ مولار بعد از یک هفته به‌طور کامل از بین رفتند.

در میان فلزات سنگین، سرب یکی از مهم‌ترین آن‌هاست که از گذشته تاکنون به‌عنوان یک آلوده‌کننده محیطی بررسی شده است. سرب به‌راحتی توسط گیاهان جذب‌شده و در اندام‌های مختلف آن ذخیره می‌شود. خاک‌هایی که حاوی سرب می‌باشند، باعث کاهش عملکرد محصول شده که یک مشکل جدی برای کشاورزان می‌باشد (۳۰). از جمله اثرات سمی

نیترات سرب) و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام قرار گرفتند و ویژگی‌های فیزیولوژیکی شامل میزان فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای، CO_2 زیر روزنه‌ای، دمای سطح برگ، توسط دستگاه LC2 ساخت کشور انگلستان دو هفته قبل از آغاز مرحله خوشه‌دهی و شاخص میزان سبزیگی برگ ۱۲ و ۲۴ روز بعد از تغذیه با فلز سرب توسط دستگاه Spad (کمپانی Konica Minolta ساخت ژاپن) اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های ریخت‌شناسی مانند طول ساقه، تعداد برگ، تعداد برگ زرد، طول ریشه، وزن تر اندام‌های هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک اندام‌های هوایی، وزن خشک ریشه، عملکرد زیستی تر و خشک نیز بعد از برداشت (آغاز مرحله خوشه‌دهی) اندازه‌گیری شدند. برای تجزیه داده‌های آماری و مقایسه میانگین به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد از نرم‌افزار SPSS²³ استفاده شد.

نتایج و بحث

مرحله اول آزمایش نشان داد که عنصر سرب باعث ایجاد تغییرات مهمی در ویژگی‌های ریخت‌شناسی دو والد جو می‌شود. اولین علائم ناشی از سمیت عنصر سرب در هفته دوم تغذیه با سرب بروز پیدا کرد که شامل نکروزه شدن و کلروزه شدن نوک برگ‌ها بود و به تدریج تمام برگ را فرا گرفت. نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری بین دو والد جو از نظر ویژگی‌های مورد مطالعه نشان داد. هم‌چنین، اثر متقابل ژنوتیپ با سطوح مختلف عنصر سرب روی ویژگی‌های، میزان انباشتگی سرب در اندام هوایی، تعداد برگ، طول ساقه و وزن تر ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین سطوح سرب از نظر طول ریشه، وزن خشک ساقه، عملکرد زیستی تر و خشک، وزن تر ساقه و وزن خشک ریشه (جدول ۲) نشان داد که در غلظت ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام سرب، میانگین این ویژگی‌های کم‌ترین مقدار بودند و بین غلظت‌های

آزمایش اول بذره‌های Dom و Rec، قبل از کشت در پتری‌دیش با آب مقطر خیسانده شد و بعد از جوانه‌زنی تعداد چهار بوته داخل گلدان‌هایی به قطر بیست سانتی‌متر کشت گردید، خاک گلدان‌ها شامل پرلیت و ماسه به نسبت ۲ به ۱ بود. در هفته اول و دوم کاشت، آبیاری با ماده غذایی هوگلند و از هفته سوم (۳ برگی شدن گیاه)، تغذیه با ماده غذایی هوگلند به همراه نیترات سرب انجام شد و تا قبل از مرحله خوشه‌دهی ادامه پیدا کرد. یادداشت‌برداری‌ها از روز اول تغذیه با سرب انجام شد و با فاصله زمانی یک، دو و سه روز، یک، دو و سه هفته، ادامه پیدا کرد. یادداشت‌برداری‌های اولیه شامل ویژگی‌های ریخت‌شناسی (ارتفاع ساقه، تعداد برگ، علائم نکروزه شدن و کلروزه شدن) بود. پس از برداشت گیاهچه‌ها، طول ریشه، وزن تر ساقه، وزن تر ریشه، عملکرد زیستی تر و خشک اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری میزان فلز سرب انباشته شده در اندام‌های هوایی (گیاهچه‌های خشک‌شده) در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی استان زنجان توسط دستگاه جذب اتمی کمپانی BC مدل AVANPA P ساخت کشور استرالیا، انجام شد. داده‌های حاصل به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی از طریق نرم‌افزار SPSS²³ تجزیه شد. بعد از این‌که وجود تفاوت بین دو والد Dom و Rec از نظر میزان تحمل به فلز سرب و غلظت سرب متمایزکننده مشخص شد، ۹۴ لاین دابل هاپلوئید مربوط به جمعیت OWB حاصل از تلاقی دو والد Dom و Rec در دو غلظت صفر (شاهد) و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام نیترات سرب در داخل گلدان با خاک پرلیت و ماسه به نسبت ۲ به ۱ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار کاشته شد و به مدت ۲ هفته با محلول هوگلند تغذیه شدند. سپس، گیاهچه‌های ۲ تا ۳ برگی تحت تیمار با نیترات سرب با غلظت صفر (شاهد-آب فاقد

و همکاران (۹) نتایج متفاوتی در مورد مقاومت به عنصر کادمیوم روی دو ژنوتیپ Rec و Dom به دست آوردند. بدین صورت که، والد Rec مقاوم‌تر از والد Dom در مقابل سمیت با عنصر کادمیوم بود.

با افزایش غلظت سرب، میزان انباشتگی سرب در اندام هوایی در هر دو والد تقریباً به یک اندازه بود (جدول ۳) که می‌توان نتیجه گرفت، مقاومت به سمیت سرب در والد Dom به‌خاطر عدم جذب سرب نیست، بلکه احتمالاً راهبردهایی در سلول‌های ژنوتیپ Dom وجود دارد که باعث غیرسمی شدن و یا خارج کردن عنصر سرب از سلول‌های گیاهی به فضای بین‌سلولی می‌گردد. چنین راهبردی در جو قبلاً برای تحمل به کادمیوم توسط قره‌باغی و همکاران (۹)، صالحی و همکاران (۲۸) و بر اسپنوربوش و همکاران (۲۹) گزارش شده است. اسپنوربوش و همکاران (۲۹) دو ژن مرتبط با تحمل بر، در گیاه جو شناسایی کردند. ژن Bot_1 که در انتقال Br به خارج از سلول در جو فعالیت دارد و دیگری $Hvnp2:7$ که یک اکوپریون^۱ از نودلین^۲ ۲۶ مثل زیر خانواده اصلی پروتئین (NIP) است که به‌تازگی به‌عنوان انتقال‌دهنده سیلیس در جو و برنج شناسایی گردیده است. تعدادی از پژوهش‌گران در مطالعات خود روی سایر گونه‌ها نشان دادند که میزان تجمع سرب بیش‌تر در قسمت ریشه گیاه اتفاق می‌افتد (۱۱، ۲۱ و ۳۹)، قلیچ و همکاران (۱۱) در مطالعه‌ای نشان دادند که هرچه بر میزان غلظت سرب در محیط رشد گیاه افزوده می‌شود، میزان انتقال آن از ریشه به اندام هوایی افزایش می‌یابد و در غلظت‌های بسیار بالای سرب، تجمع سرب در ریشه برای کاهش سمیت این فلز سنگین در گیاه به‌تنهایی مؤثر نبوده و گیاه از ساز و کار انتقال و تجمع سرب در اندام هوایی استفاده می‌کند.

۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام نیترات سرب با شاهد اختلاف چندانی وجود نداشت.

افزایش تجمع نیترات سرب در اندام‌های گیاه با افزایش غلظت آن در تیمارها در مطالعات مشابه دیده شده است (۵). سرب به‌وسیله مهار تقسیم سلولی و یا کاهش گسترش سلولی در ناحیه طویل شدن و یا هر دو آن‌ها سبب کاهش طول ریشه می‌شود (۵). افزایش غلظت نیترات سرب باعث کاهش میانگین طول ساقه، طول ریشه، کندی و تاخیر رشد و کاهش سطح برگ‌ها در گیاهان شده که این پدیده موجب کاهش سطح تعرق می‌گردد، بنابراین جریان ترکیباتی که باید به‌سمت ساقه‌ها و اندام‌های هوایی انتقال یابند با کاهش مواجه می‌شوند و همین امر نیز موجب کندی رشد در بخش‌های هوایی می‌شود (۲۶).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، دو والد جمعیت نقشه‌یابی در سطوح مختلف سرب، واکنش کاملاً متفاوتی را نسبت به سمیت با سرب نشان دادند (جدول ۳). والد Rec در شرایط بدون تنش در طول ساقه، تعداد برگ و وزن‌تر ریشه، میانگین بیش‌تری نسبت به والد Dom داشت که البته این اختلاف معنی‌دار نبود. تحت شرایط تنش، والد Dom در طول ساقه، تعداد برگ با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت و در مورد وزن‌تر ریشه بین غلظت‌های ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام اختلاف معنی‌دار وجود نداشت و هر سه غلظت در یک گروه قرار گرفتند. در همه ویژگی‌ها، میزان کاهش ویژگی‌ها در شرایط تنش در والد Dom کم‌تر از والد Rec بود و والد Dom تحمل بیش‌تری نسبت به والد Rec در مقابل سمیت سرب نشان داد. در صورتی‌که، میانگین والد Rec در غلظت ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام در طول ساقه، وزن‌تر ریشه و تعداد برگ مورد مطالعه نسبت به شاهد و دو غلظت دیگر (۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام) کاهش معنی‌داری را نشان داد و دو غلظت ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام در مقایسه با یکدیگر و شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). قره‌باغی

1- Ecoprio
2- Nodelin

جدول ۱- تجزیه واریانس ویژگی‌های مورفولوژیکی در دو والد توده نقشه‌یابی جو.

Table 1. Analysis of variance for morphological traits in two parents of barley mapping population.

		میانگین مربعات Mean of square										درجه آزادی Df	منابع تغییر S.O.V	
طول ساقه Shoot length	طول ریشه Root length	تعداد برگ Leaf number	وزن ساقه Shoot fresh weight	وزن ریشه Root fresh weight	وزن خشک Stem dry weight	وزن خشک Root Dry weight	عملکرد بیولوژیک تر Fresh biological yield	عملکرد بیولوژیک خشک Dry biological yield	انباشتگی سرب Lead accumulation	سرب Lead	ژنوتیپ Genotype	سرب × ژنوتیپ Lead × Genotype	اشتباه آزمایشی Error	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
74.5°	6.49	34.66**	10.8**	1.6°	0.188**	0.031**	19.71**	0.32**	9331**	3				
152.1**	55.2°	12.51°	9.97**	6.28**	0.433**	0.066**	31.91**	0.83**	7.04*	1				
112.6**	8.29	13.16**	0.52	1.44°	0.025	0.005	2.74	0.028	11.2**	3				
19.8	9.04	2.11	0.75	0.25	0.021	0.003	2.03	0.020	1.35	32				
9.34	18.53	18.52	11.47	16.8	17.67	16.59	19.87	14.31	1.74	-				

* and ** Significant at 5% and 1% Probability levels, respectively.

° و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد بررسی.

Table 2. Traits Reviewed Mean comparison.

طول ریشه Root length (cm)	وزن تر ساقه Shoot fresh weight (g)	وزن خشک ساقه Stem dry weigh (g)	وزن خشک ریشه Root Dry weight (g)	عملکرد زیستی تر Fresh biological yield (g)	عملکرد زیستی خشک Dry biological yield (g)	غلظت‌های سرب Doses of lead (ppm)
18.12	8.75	0.92	0.39	7.87	1.19	Control
17.31	8.63	0.86	0.38	7.58	1.11	1000 ppm
17.16	8.04	0.80	0.32	7.44	1.02	1500 ppm
12.31	6.8	0.70	0.23	5.80	0.62	2000 ppm
2.74	0.79	0.132	0.049	1.33	0.147	LSD

جدول ۳- مقایسه میانگین دو والد Rec و Dom در سطوح مختلف سرب.

Table 3. Mean comparison of Rec and Dom parents in different lead levels.

طول ساقه Shoot length (cm)	تعداد برگ Leaf number	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	انباشتگی سرب Lead accumulation (ppm)	غلظت سرب Lead Doses (ppm)	Parentes
53.43	10.60	3.93	6.00	Control	REC
42.88	8.42	3.91	78.36	1000 ppm	
42.90	8.30	2.85	82.10	1500 ppm	
31.00	3.60	0.70	99.40	2000 ppm	
52.41	7.92	3.90	6.60	Control	DOM
52.42	8.06	2.83	77.50	1000 ppm	
54.44	8.42	2.86	83.53	1500 ppm	
51.43	7.45	2.83	98.80	2000 ppm	
5.74	1.87	0.64	1.49		LSD

پایه و اساس انجام گزینش ارقام برتر و مطلوب است، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه می‌تواند تنوع موردنظر را برای انتخاب لاین‌های برتر تأمین کند. از طرف دیگر، وجود این تنوع بالا نشان می‌دهد که این جمعیت مناسب برای مکان‌یابی ژن‌های کنترل‌کننده تحمل به سمیت سرب می‌باشد. از جمله علائم ناشی از سمیت سرب، در غلظت ۲۰۰۰ ppm که به تدریج از هفته دوم تیمار با محلول غذایی هوگ‌لند به همراه نیترات سرب مشاهده شد می‌توان به ضعف عمومی، زردی و خشکیدگی برگ‌ها اشاره کرد. علائم زردی ابتدا در برگ‌های پائین‌تر شروع شد و به تدریج برگ‌های جوان را نیز در بر گرفت. با توجه به جدول مقایسه

در مرحله دوم آزمایش اختلاف معنی‌داری در ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک بین ۹۴ لاین حاصل از تلاقی دو والد Rec و Dom نسبت به تحمل سرب مشاهده شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که لاین‌های مورد آزمایش از نظر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک (CO_2 زیر روزنه‌ای، فتوسنتز، دمای سطح برگ، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، میزان سبزیگی گیاه ۱۲ و ۲۴ روز پس از تغذیه با سرب) در سطح احتمال ۱ درصد، اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول‌های ۴ و ۵). این امر نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی بالا در بین لاین‌ها از نظر این شاخص‌ها بود. با توجه به این‌که وجود تنوع،

بود. مطالعه انجام گرفته در این خصوص نشان داد که سلول‌های مریستمی ریشه گیاهچه‌ها تغییرات آشکار فراساختاری سلولی، مانند ترک خوردن و اکوئل سیستم غشای هسته‌ای، در هنگام تیمار با فلزات سنگین نشان می‌دهد (۳۶). نتایج مطالعات مختلف نشان‌دهنده کاهش میزان وزن‌تر و خشک اندام هوایی و ریشه، تحت تنش سرب و سایر فلزات سنگین می‌باشد که مشابه نتایج به‌دست آمده در این مطالعه می‌باشد (۱۱، ۱۳ و ۳۵). بنابراین، به‌نظر می‌رسد که کاهش وزن‌تر و خشک ریشه و اندام هوایی گیاهان به‌دلیل کاهش تقسیمات سلولی، کاهش میزان فتوسنتز و یا کاهش جذب آب و مواد معدنی می‌باشد (۱۱).

برومند جزئی (۵) بیش‌ترین میزان سرب از طریق سیستم‌های ریشه‌ای جذب گیاهان می‌شود و مقدار ناچیزی هم از طریق برگ و به‌خصوص برگ‌های دارای کرک، جذب گیاهان می‌گردد چنین شرایطی موجب مسمومیت گیاه، کاهش رشد و میزان محصول، زردی برگ‌های جوان، کاهش جذب برخی عناصر ضروری مانند آهن و موجب کاهش میزان فتوسنتز می‌شود.

قاسمی‌سیانی و همکاران (۱۰) غلظت بالای اکسید روی باعث تخریب مسیرهای انتقال آب و عناصر غذایی و در نتیجه کاهش زیست توده ریشه و اندام‌هوایی در گیاه شنبلیل می‌شود.

مارچیول و همکاران (۲۴) علائم ناشی از جذب مقادیر بالای کادمیوم در گیاه را کاهش و توقف رشد ریشه و چوب پنبه‌ای شدن ساختمان آن، کاهش هدایت هیدرولیکی آب در ریشه و تداخل با جذب و انتقال طبیعی عناصر غذایی، کاهش میزان کلروفیل و اختلال در فعالیت‌های آنزیمی دخیل در فتوسنتز عنوان کرده‌اند. فتوسنتز مهم‌ترین فرایند فیزیولوژیکی گیاه است که نقش مؤثری در تثبیت کربن و تولید ماده آلی دارد (۱۴). نتایج نشان داد که تیمار با سرب، سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، مقدار کلروفیل و هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهد (جدول ۶) که این

میانگین ویژگی‌های مورد ارزیابی در دو وضعیت تنش سرب و عدم تنش (جدول ۶)، میانگین شاخص زردی برگ‌ها در شرایط تنش بیش‌تر از شرایط بدون تنش بود. مشاهده پژمردگی عمومی در بوته‌های تحت تیمار به‌علت اختلال مصرف آب می‌باشد. فلزات سنگین می‌توانند بر نفوذپذیری غشا به‌دلیل کاهش در محتوی آب اثر بگذارند و زردی برگ‌ها به احتمال زیاد در اثر تخریب کلروفیل ایجاد می‌شود (۲۲). در بعضی موارد نکرز بین رگی‌ها به‌صورت نواری توسعه یافت. با پیوستن لکه‌های نکرز در اثر توسعه مسمومیت سرب، سطح برگ با لکه‌های نواری پر شده و به دنبال آن برگ‌ها خشک شده و به‌صورت خشک متصل به بوته باقی می‌مانند. علت عمده نکرز برگ‌ها، بالا رفتن سطح ROS است که می‌تواند به اندام‌ها آسیب رسانده و موجب مرگ سلولی شود (۲۷) اندازه‌گیری سبزینگی ۱۲ و ۲۴ روز بعد از اعمال تنش با دستگاه SPAD اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای شاهد و تنش سرب نشان داد. میانگین ویژگی سبزینگی (جدول ۶) در شرایط تنش به‌طور معنی‌دار کم‌تر از میانگین این ویژگی در شرایط نرمال بود. در بین لاین‌ها، (جدول ۷) ژنوتیپ‌های ۳۰، ۳۷، ۴۱، ۵۳، ۷۴ و ۷۸ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، سبزینگی بیش‌تری را نشان دادند. ژنوتیپ ۷۸ از نظر این ویژگی دارای بیش‌ترین میانگین در شرایط نرمال و تنش سرب بود. عنصر سرب به احتمال زیاد در سوخت‌وساز کلروپلاست با بازداری بیوسنتز کلروفیل II اختلال ایجاد می‌کند (۲۵). قهوه‌ای شدن نکرز ریشه‌های موئین و هم‌چنین کاهش تعداد ریشه‌های فرعی و قهوه‌ای شدن آن‌ها و به‌طورکلی کاهش وزن‌تر ریشه‌ها، از جمله سایر علائم مشاهده شده روی گیاهچه‌های تحت تیمار با سرب نسبت به گیاهچه‌های شاهد بود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) نشان داد که میانگین وزن‌تر و خشک ریشه در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال کم‌تری

در آزمایش قره‌باغی و همکاران (۹)، که واکنش‌های فیزیولوژیکی لاین‌های دابل هاپلوئید مورد بررسی در آزمایش حاضر را نسبت به سمیت با دوزهای مختلف عنصر کادمیوم مورد مطالعه قرار دادند، میزان کلرفیل و فتوستنز بیش‌تر از سایر ویژگی‌های تأثیر تنش با عنصر کادمیوم قرار گرفتند. در آزمایش آن‌ها نیز با افزایش غلظت کادمیوم در محلول غذایی فتوستنز، هدایت روزنه‌ای و تعرق کاهش یافت که این امر نشان‌دهنده تشدید تأثیر سمیت سرب بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناسی گیاه در اثر تجمع آن در بافت‌های گیاه می‌باشد.

از آنجایی‌که تنش با فلزات سنگین باعث اختلالات مهمی در گیاهان می‌شود، بنابراین شناخت ویژگی‌هایی که تحت تأثیر این‌گونه تنش‌ها قرار می‌گیرند و همچنین روابط موجود بین این ویژگی‌های لازم و ضروری است. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها برای به‌نژادگران دارای ارزش کاربردی می‌باشد. در روش‌های اصلاحی ژنوتیپ‌ها بسته به هدف از گروه‌های مختلف انتخاب می‌شود و همچنین برای تعریف استراتژی‌ها در جهت جمع‌آوری ژرم‌پلاسم کمک می‌کند. تجزیه خوشه‌ای زمانی که اصلاح از طریق چندین صفت صورت می‌گیرد، یک ابزار قدرتمند برای کمک به گزینش مؤثر ژنوتیپ‌ها است (۲۰).

تجزیه خوشه‌ای در شرایط نرمال و تنش سرب بر اساس همه ویژگی‌های مورد بررسی، به‌طور جداگانه با روش وارد انجام شد. برش نمودار درختی در فاصله ۸ صورت گرفت. به‌طوری‌که، ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال به ۳ گروه (شکل ۱) و در شرایط تنش سرب به ۴ گروه (شکل ۲) تقسیم شدند. برای تأیید نتایج و این‌که بین کلاسترهای مختلف اختلاف معنی‌دار وجود دارد، تجزیه واریانس چندمتغیره در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس چندمتغیره نشان داد که بین کلاسترها در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود

یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های دیگر (۱۱ و ۳۱)، مطابقت دارد. شارما و همکاران (۳۱)، گزارش کردند که عنصر کادمیوم از طریق کاهش در رنگریزه‌های فتوستنزی و کاهش فتوستنز باعث کاهش رشد در گیاهان می‌شود. واسیلو (۳۳)، گزارش کرد که کادمیوم محتوی رنگدانه‌های فتوستنزی را تا ۲۴ درصد کاهش می‌دهد که در نتیجه فتوستنز نیز کاهش می‌یابد. ورنه و کالکاگنو (۳۴) بیان داشتند که برای عملکرد مطلوب، یک گیاه باید روزنه‌ها را طی تنش باز نگه دارد تا آب و مواد غذایی را بهتر از خاک دریافت کند. هدایت روزنه نیز همانند کلروفیل از عوامل مؤثر در فتوستنز می‌باشد. رابطه مستقیم و غیرمستقیمی بین نمو و عمل روزنه در برابر فلزات سنگین وجود دارد کاهش حجم فضای بین‌سلولی مزوفیل انتشار آب را به روزنه کم‌تر می‌کند این پدیده در گیاهان مقاوم به فلزات سنگین صورت نمی‌گیرد. بسته شدن روزنه‌ها عموماً به‌عنوان عامل تعیین‌کننده برای کاهش فتوستنز تحت تنش‌های ملایم تا متوسط پذیرفته شده است. بسته شدن روزنه، غلظت CO_2 در برگ‌ها را کاهش می‌دهد. بدین طریق با کاهش عرضه CO_2 ، فتوستنز کاهش می‌یابد. یعقوبیان و همکاران (۳۷) گزارش کردند افزایش غلظت کادمیوم، تا حدود بالای ۳۰ میلی‌گرم در لیتر، باعث کاهش سبزیگی برگ و برخی متغیرهای فلورسانس کلروفیل و در نتیجه کاهش تجمع ماده خشک گیاه بادرنجبویه می‌شود. احمدی و بیکر (۲) بیان داشتند کاهش نرخ مبادله CO_2 در اثر تنش می‌تواند به‌علت تأثیرات تحریکی روی هدایت روزنه‌ای و کلروفیل و فتوستنز باشد. واسیلوو (۳۳) گزارش کرد که بسته شدن روزنه‌ها می‌تواند روی تعرق گیاه تأثیرگذار باشد. تعرق نیز عمل مهم برگ گیاه است که در ارتباط با انتقال آب و مواد غذایی، تحمل به خشکی، تبادل CO_2 و فتوستنز نقش دارد و همبستگی مثبت بین تعرق و سرعت فتوستنز خالص وجود دارد که سمیت با فلزات سنگین باعث کاهش میزان تعرق می‌شود (۳۲).

بر اساس تجزیه خوشه‌ای در شرایط تنش، گروه ۱ شامل ژنوتیپ‌هایی بود که از لحاظ ارتفاع ساقه، وزن خشک ساقه، دارای بیش‌ترین میانگین و از لحاظ عملکرد زیستی خشک، وزن خشک ریشه، وزن‌تر ریشه، CO_2 زیر روزنه‌ای و وزن خشک ریشه دارای کم‌ترین میانگین بودند. سایر ویژگی‌های در این گروه در حد واسط بود (جدول ۹). بر اساس جدول تجزیه همبستگی بین ویژگی‌های در شرایط تنش (جدول ۱۱)، رابطه بین ارتفاع ساقه و وزن خشک ساقه مثبت و معنی‌دار بود. همچنین، رابطه مثبت و معنی‌داری میان عملکرد زیستی خشک، وزن خشک ریشه و وزن‌تر ریشه وجود داشت. در گروه دوم ژنوتیپ‌هایی قرار گرفتند که از لحاظ وزن‌تر ساقه، وزن خشک ساقه، وزن‌تر ریشه، عملکرد زیستی‌تر، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، CO_2 زیرروزنه‌ای، میزان فتوسنتز، سبزیگی گیاه دارای کم‌ترین میانگین بودند (جدول ۹). نتیجه تجزیه همبستگی (جدول ۱۱)، رابطه مثبت و معنی‌داری میان وزن‌تر ساقه، وزن خشک ساقه، وزن‌تر ریشه، عملکرد زیستی‌تر، و همچنین رابطه مثبت و معنی‌داری میان میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، CO_2 زیرروزنه‌ای، میزان فتوسنتز نشان داد. از نتایج این گروه می‌توان چنین نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۸، ۱۵، ۲۱، ۲۵ و ۵۰ نسبت به مسمومیت با عنصر سرب، هم از نظر ریخت‌شناسی و هم فیزیولوژیک بیش‌ترین واکنش را نشان داده و جزو لاین‌های حساس بودند. بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول‌های ۷ و ۸)، این ژنوتیپ‌ها جز ژنوتیپ‌های با کم‌ترین میانگین هستند. به‌طوری‌که، ژنوتیپ ۱ دارای کم‌ترین میانگین میزان سبزیگی، ژنوتیپ ۷ دارای کم‌ترین میانگین وزن‌تر و خشک ساقه، ژنوتیپ ۲۱ کم‌ترین وزن خشک ریشه، ژنوتیپ ۱۵ کم‌ترین طول ریشه و تعرق و ژنوتیپ ۵۰ کم‌ترین CO_2 زیر روزنه‌ای و هدایت روزنه‌ای می‌باشند. در گروه سوم ژنوتیپ‌هایی قرار گرفتند که از لحاظ میزان

داشت. لاین‌های موجود در هر یک از خوشه‌ها دارای قرابت ژنتیکی بیش‌تری نسبت به لاین‌های موجود در خوشه‌ها متفاوت هستند، بنابراین در صورت نیاز به دورگ‌گیری می‌توان با توجه به لاین‌های موجود در خوشه‌های مختلف و ارزش میانگین ویژگی‌های برای هر خوشه، برای بهره‌وری بیش‌تر از پدیده‌های هتروزیس و تفکیک متجاوز استفاده کرد (۱۶). عبدالله‌زاده و همکاران (۱) و علوی سینی و همکاران (۳) در مطالعاتی برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از تجزیه خوشه‌ای و همچنین برای تأیید صحت گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای از روش تجزیه واریانس چندمتغیره استفاده کردند. براساس تجزیه خوشه‌ای در شرایط نرمال، ۳۵ ژنوتیپ در گروه ۱ قرار گرفتند. ژنوتیپ‌هایی که در این گروه واقع شدند، از لحاظ ارتفاع ساقه، میزان سبزیگی گیاه و طول ریشه دارای بالاترین میانگین و از لحاظ وزن‌تر ریشه، وزن خشک ریشه، عملکرد زیستی خشک دارای کم‌ترین میانگین بودند (جدول ۱۰). نتایج تجزیه همبستگی (جدول ۱۱)، رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد زیستی خشک و وزن‌تر و خشک ریشه نشان داد. همچنین، رابطه همبستگی بین ارتفاع ساقه با طول ریشه مثبت و معنی‌دار بود. در گروه ۲ که شامل ۲۴ ژنوتیپ می‌باشد، دمای سطح برگ، تعداد برگ سبز، وزن‌تر ساقه، وزن خشک ریشه، عملکرد بیولوژیک‌تر دارای بیش‌ترین میانگین بودند (جدول ۱۰). نتایج تجزیه همبستگی (جدول ۱۱)، رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد زیستی‌تر با وزن‌تر ساقه، وزن خشک ریشه و تعداد برگ سبز را نشان داد. گروه ۳ شامل ژنوتیپ‌هایی بود که از لحاظ CO_2 زیر روزنه‌ای، تعرق، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز، وزن‌تر ریشه، وزن خشک ریشه، عملکرد زیستی‌تر دارای بیش‌ترین میانگین بودند (جدول ۱۰). بر اساس جدول تجزیه همبستگی (جدول ۱۱)، رابطه مثبت و معنی‌داری بین CO_2 زیر روزنه‌ای، تعرق، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز وجود دارد.

در پژوهش حاضر با توجه به شناسایی لاین‌های مقاوم به مسمومیت با سرب، و با توجه به این‌که والدین این ژنوتیپ‌ها دارای راهبرد جذب سرب از خاک و انباشته کردن آن در اندام‌های هوایی بوده و احتمال وراثت‌پذیر بودن این راهبرد و از آن‌جایی‌که تمام این فرایندها (جذب، انتقال، تحمل و مقاومت به فلزات سنگین) توسط ژنوم رهبری می‌شود و بر اساس خصوصیات ژنتیکی منحصر به فرد جو که آن را به‌عنوان یک گیاه مدل برای پژوهش‌های ژنتیکی مناسب کرده است و با توجه به این‌که بیش‌تر ویژگی‌های مهم و با ارزش اقتصادی در گیاهان و جانوران کمی می‌باشند (۳۸). می‌توان در مطالعات بعدی، از این لاین‌های دابل هاپلوئید جو به‌عنوان توده نقشه‌یابی برای مکان‌یابی ژن‌های متحمل به سمیت با سرب استفاده کرد. علاوه بر این با توجه به این‌که پاک‌سازی خاک‌های آلوده از طریق روش‌های فیزیکی، شیمیایی و یا زیستی انجام می‌شود و از آن‌جا که روش‌های فیزیکی و شیمیایی هزینه‌بر بوده و باعث تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های حیاتی خاک می‌شود و در مقیاس وسیع قابل استفاده نمی‌باشند، بنابراین بهتر است تا حد امکان از روش‌های زیستی مناسب و طبیعی استفاده شود. (۲۳). یکی از روش‌های زیستی استفاده از گیاهان مقاوم که دارای سازوکارهای متنوعی برای سم‌زدایی فلزات سنگین و مقاومت به تنش ناشی از آن‌ها هستند، می‌باشد (۱۷). بنابراین چنین پیشنهاد می‌شود که در مطالعات بعدی از این لاین‌ها به‌منظور گیاه پالایی برای خاک‌هایی با مسمومیت سرب استفاده شود. گیاه پالایی، فناوری استفاده از گیاهان برای استخراج، تثبیت، محبوس کردن و یا سمیت‌زدایی آلاینده‌ها توسط گیاه با استفاده از روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌باشد. این فناوری روش مؤثر، ارزان‌قیمت و متناسب با شرایط زیست‌بوم و سازگار با محیط زیست انسان بوده و آلودگی‌ها را از خاک پالایش می‌کند (۲۳).

تعرق، هدایت روزنه‌ای، CO_2 زیر روزنه‌ای، میزان سبزی‌نگی گیاه، طول ریشه، تعداد برگ، وزن تر ساقه، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، عملکرد زیستی تر و خشک دارای بیش‌ترین میانگین و از لحاظ دمای سطح برگ دارای کم‌ترین میانگین بودند (جدول ۹). نتیجه تجزیه همبستگی (جدول ۱۱)، رابطه مثبت و معنی‌داری میان عملکرد زیستی تر و خشک با صفات وزن تر و خشک ساقه، وزن تر ریشه، طول ریشه، تعداد برگ و هم‌چنین رابطه مثبت و معنی‌داری بین میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، CO_2 زیر روزنه‌ای میزان فتوسنتز، نشان داد. از طرفی رابطه منفی و معنی‌داری بین تعرق و هدایت روزنه‌ای با دمای سطح برگ مشاهده شد. ژنوتیپ‌هایی با هدایت روزنه‌ای و تعرق بالا از محدودیت‌های روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای فتوسنتز ممانعت به‌عمل می‌آورند و در نتیجه این ژنوتیپ‌ها فتوسنتز بالایی داشته و در نهایت عملکرد بالایی خواهند داشت (۳). ژنوتیپ‌های ۲۴، ۴۰، ۴۱، ۴۴، ۴۸، ۷۸ و ۸۰ که در گروه سه قرار گرفتند، کم‌ترین تأثیر را از تنش سرب نشان دادند و میانگین آن‌ها تحت شرایط تنش سرب در مقایسه با شرایط نرمال، تغییرات کمی نشان داد و جزء ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش سرب بودند. بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول‌های ۷ و ۸)، این ژنوتیپ‌ها جز ژنوتیپ‌هایی با بیش‌ترین میانگین بودند. به‌طوری‌که، ژنوتیپ ۲۴ دارای بیش‌ترین میانگین فتوسنتز، وزن تر ساقه و طول ساقه، ژنوتیپ ۴۴، بیش‌ترین میانگین هدایت روزنه‌ای، ژنوتیپ ۴۸ بیش‌ترین طول ریشه، ژنوتیپ ۷۸ بیش‌ترین میزان سبزی‌نگی و ژنوتیپ ۸۰ بیش‌ترین عملکرد زیستی خشک را دارا بود. در گروه ۴ ژنوتیپ‌هایی قرار گرفتند که از لحاظ ارتفاع ساقه، تعداد برگ دارای کم‌ترین میزان میانگین بوند و از لحاظ سایر ویژگی‌های میانگین متوسط داشتند (جدول ۹).

جدول ۴- تجزیه واریانس ویژگی‌های مورفولوژیکی مربوط به ۹۴ لاین دابل هاپلوئید جو.

Table 4. Analysis of variance for morphological traits in 94 double haploid barley lines.

میانگین مربعات Mean of square										درجه آزادی Df	منابع تغییر S.O.V
طول ساقه Shoot length	طول ریشه Root length	تعداد برگ Leaf number	وزن ساقه Shoot fresh weight	وزن ریشه Root fresh weight	وزن ساقه خشک Stem dry weight	وزن ریشه خشک Root Dry weight	عملکرد بیولوژیک تر Fresh biological yield	عملکرد خشک Dry biological yield			
347808**	183.9**	11760	8843**	15.27**	121.2**	183.52**	8416**	603.17**	1	سرب Lead	
130.67**	22.25**	132.9**	64.3**	79.5**	1.23**	7.64**	189**	10.25**	93	ژنوتیپ Genotype	
107.2**	24.03**	86.89**	66.8**	45.5**	1.33**	3.31**	130.7**	5.4**	93	ژنوتیپ × سرب Genotype × Lead	
25.08	9.96	31.75	12.46	10.26	0.49	1.06	30.5	1.77	376	اشتباه آزمایشی Error	
8.22	12.74	22.22	18.8	23	10	18	17.09	16.23		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	

جدول ۵- تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیولوژیک مربوط به ۹۴ لاین دابل هاپلوئید جو.

Table 5. Analysis of variance for Physiological traits in 94 double haploid barley lines.

میانگین مربعات		Mean of square				درجه آزادی	منابع تغییر
دمای سطح برگ	زیر روزنه‌ای CO ₂	تعرق	هدایت زیر روزنه‌ای	فوتوسنتز	سبزینگی ۱	سبزینگی ۲	S.O.V
Leaf surface temperature	Sub-stomatal CO ₂	Transpiration	Intercellular CO ₂ Concentration	Photosynthesis	Plant greenness after 12 days under stress	Plant greenness after 24 under stress	Df
142**	2190	0.663**	0.092**	813**	1662**	2268**	1
25.33**	8854**	82.09**	0.001**	6**	24.43**	24.44**	93
18.23**	8834**	0.818**	0.001**	5.81**	19.23**	13.25**	93
0.392	4478	0.204	0.0001	1.91	9.54	6.66	376
2	19.15	20	2.56	23	10.26	8.21	ضرب تغییرات (درصد) CV (%)

* and ** Significant at 5% and 1% Probability levels, respectively.

و *** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

جدول ۶- مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد ارزیابی در لاین‌های دابل هاپلوئید جو مورد در دو شرایط تنش سرب و عدم تنش.

Table 6. Mean comparison of traits in Barely double haploides in lead stress and normal conditions.

اختلاف	تنش	کنترل	صفت
20.05**	33.04	53.09	طول ساقه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)
3.55**	26.54	22.99	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)
10.99**	19.86	30.85	تعداد برگ Leaf number
9.97**	13.71	23.69	وزن تر ساقه (گرم) Shoot fresh weight (g)
4.39**	11.68	16.07	وزن تر ریشه (گرم) Root fresh weight (g)
7.79**	2.51	10.3	وزن خشک ساقه (گرم) Stem dry weight (g)
6.83**	2.25	9.08	وزن خشک ریشه (گرم) Root Dry weight (g)
19.82**	22.4	42.22	عملکرد زیستی تر (گرم) Fresh biological yield (g)
12.80**	1.79	14.6	عملکرد زیستی خشک (گرم) Dry biological yield (g)
5.66**	28.74	34.41	دمای سطح برگ (درجه سانتی‌گراد) Leaf surface temperature (°C)
117.45**	290.69	408.15	CO ₂ زیر روزنه‌ای (میکرومول بر مول) Sub-stomatal CO ₂ (μmol/mol)
1.88**	1.27	3.15	تعرق (میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) Transpiration (mmol m ⁻² s ⁻¹)
0.41**	0.18	0.6	هدایت روزنه‌ای (مول بر مترمربع در ثانیه) Intercellular CO ₂ Concentration (mol m ⁻² s ⁻¹)
4.69**	3.62	8.31	فتوسنتز (میکرومول بر مترمربع در ثانیه) Hotosynthesis (μmol m ⁻² s ⁻¹)
4.68**	27.76	32.44	میزان سبزی‌نگی ۱۲ روز بعد از تنش (مول بر سانتی‌مترمربع) Plant greenness after 12 days under stress (mol/cm ²)
5.38**	28.71	34.09	میزان سبزی‌نگی ۲۴ روز بعد از تنش (مول بر سانتی‌مترمربع) Plant greenness after 24 days under stress (mol/cm ²)

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

* and ** Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیولوژیک لاین‌های دابل هاپلوئید جو در شرایط نرمال و تنش سرب.

Table 7. Mean comparison of barley doubled haploid lines for physiological traits in lead stress and normal conditions.

CO ₂ زیر روزنه‌ای (میکرومول بر مول) Sub-stomatal CO ₂	تعرق (میلی مول بر مترمربع در ثانیه) Transpiration	فتوسنتز (میکرومول بر مترمربع در ثانیه) Hotosynthesis	هدایت زیر روزنه‌ای (مول بر مترمربع در ثانیه) Intercellular CO ₂ Concentration	سبزیگی ۲ (مول بر سانتی مترمربع) Plant greenness after 24 days under stress	سبزیگی ۱ (مول بر سانتی مترمربع) Plant greenness after 12 days under stress	دمای سطح برگ (درجه سانتی گراد) Leaf surface temperature	غلظت سرب Lead Doses (ppm)
505.5 (80)	4.9 (13)	11.9(6)	0.2(80)	43(78)	42.1(78)	36 (42)	بیشترین Maximum کمترین Minimum
567.5 (79)	4.9 (11)	11.8(53)	0.2(1)	42(37)	40.7(37)	35.5 (15)	
564 (40)	4.7 (12)	11.5(1)	0.2(2)	41.1(30)	40.2(30)	35.4 (16)	
543 (82)	4.3 (6)	11(3)	0.2(3)	40.5(41)	39.1(53)	35.4 (39)	
513 (48)	4.3 (14)	11(13)	0.19(4)	40.3(74)	38.8(74)	35.3 (40)	
503.5 (78)	4.3 (75)	10.9(92)	0.19(5)	39.7(53)	37.9(41)	35.3 (43)	
177 (74)	2.9 (87)	8.5(57)	0.09(84)	30.8(90)	28.5(5)	22 (79)	
178 (20)	2.9 (86)	8.5(78)	0.09(85)	30.7(12)	27.6(13)	21.7 (80)	
160 (62)	2.8 (70)	8.3(82)	0.09(86)	29.9(80)	26.9(80)	21.7 (87)	
166.5 (64)	2.7 (84)	8.3(14)	0.08(89)	29.6(85)	26.9(51)	21.4 (82)	
135.5 (71)	2.6 (83)	8.2(7)	0.08(93)	29.4(18)	25.2(12)	21.4 (81)	
136.5 (72)	2.5 (94)	8.1(57)	0.08(94)	29(7)	25.1(85)	21.2 (88)	
386(42)	2.96(29)	6.54(24)	0.06(44)	37.85(78)	39.3(78)	34.8(39)	بیشترین Maximum کمترین Minimum
353(40)	2.96(30)	6.23(28)	0.06(30)	36.55(41)	36.8(41)	34.6(33)	
320(78)	2.74(24)	6.17(30)	0.06(41)	34.9(30)	36.15(73)	34.1(34)	
318(48)	2.73(27)	6.11(44)	0.06(27)	34.9(73)	35.8(63)	34(35)	
295(44)	2.65(28)	6.1(64)	0.05(29)	34.8(63)	35 (69)	34 (37)	
289(24)	2.63(65)	6.01(41)	0.05(40)	34.65(57)	34.8(14)	33.9(29)	
104(8)	0.18(15)	1.42(9)	0(50)	24.4(1)	22.8(1)	24.9(42)	
93(21)	0.17(10)	1.41(51)	0(10)	23.5(25)	22.3 (35)	24.7(40)	
83(7)	0.17(25)	1.38(8)	0(9)	22.9(8)	21.5(56)	24.5(41)	
82.5(15)	0.16(7)	1.13(81)	0(5)	22.7(5)	21.5(19)	24.2(77)	
72(25)	0.16(1)	1.1(25)	0(2)	22(77)	21.1(25)	24.1(44)	
49.5(50)	0.15(8)	0.8(10)	0(89)	22(15)	20.8 (15)	24 (43)	
107.09	0.72	2.21	0.015	4.12	4.94	1	LSD

اعداد داخل و خارج پرانتز به ترتیب شماره لاین و مقدار اندازه‌گیری شده از صفات مورد مطالعه.

Numbers in and outside of parenthese are lines number and the measured value of the studied traits, respectively.

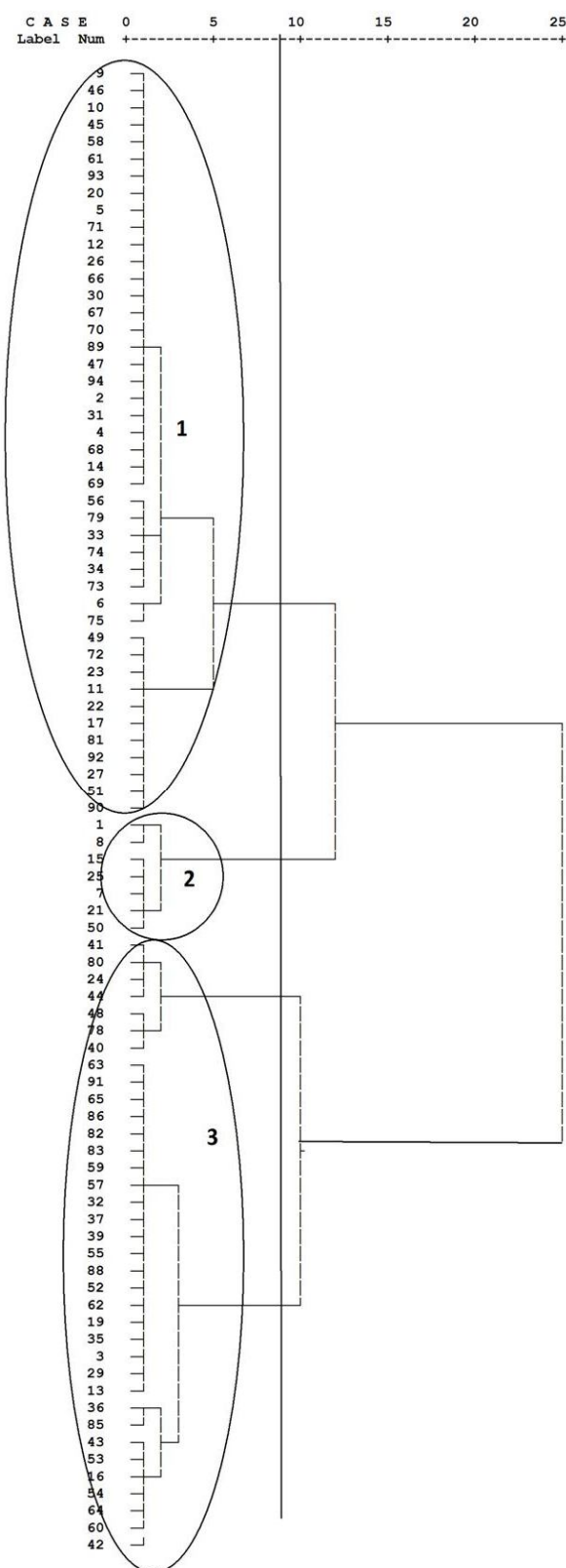
جدول ۸- مقایسه میانگین دابل هاپلوئیدهای جو برای صفات ریخت شناسی مورد مطالعه در شرایط تنش و نرمال.

Table 8. Mean comparison barley double haploid lines for Physiologic traits in stress and normal conditios.

طول ساقه Shoot length (cm)	طول ریشه Root length (cm)	تعداد برگ Leaf number	وزن تر ساقه Shoot fresh weight (g)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g)	وزن خشک ریشه Root Dry weight (g)	عملکرد زیستی تر Fresh biological yield (g)	عملکرد زیستی خشک Dry biological yield (g)	غلظت سرب Lead Doses (ppm)	
80(46)	30(54)	50(60)	43.3(54)	33.1(85)	12.7(67)	11.1(85)	68.5(86)	19.9(85)	بیشترین Maximum	
75(52)	29.5 (56)	48.5(14)	42.6(8)	27(44)	12.4(36)	10.8(87)	67.1(45)	19.9(44)		
75(53)	28(87)	42.5(67)	41.5(36)	21.6(81)	11.9(54)	10.7(44)	66.4(55)	19.7(81)		
74(390)	28(93)	46(64)	41.5(60)	21.3(92)	11.9(35)	10.6(81)	66.3(9)	19.3(92)		
74(34)	27.5(68)	44(36)	40.8(35)	19.3(79)	11.7(57)	10.4(78)	65.3(37)	19.1(87)		
73(56)	27(34)	44(66)	40.5(67)	19.2(69)	11.6(63)	9.9(75)	61.4(61)	18.2(84)		
40(32)	19(40)	9.5(45)	9.1(51)	5.4(70)	9.9(12)	7.3(66)	19.9(48)	6.1(19)		کمترین Minimum
40(80)	19(60)	9.5(31)	9(12)	4.7(6)	9.8(51)	6.7(53)	19.8(20)	5.6(47)		
38(15)	19(55)	9.5(44)	8.8(23)	4.6(40)	9.6(42)	6.7(50)	18.8(13)	5.6(5)		
37(69)	19(43)	9(91)	8.2(42)	4.2(23)	9.3(11)	6.7(47)	18.7(6)	5.4(50)		
34(51)	19(41)	9(61)	8.1(47)	4.1(66)	9(47)	6.6(70)	17.6(24)	5.4(12)		
33.5(78)	18.5(59)	8.5(12)	7.7(11)	4.1(59)	8.9(23)	6.6(63)	17.6(52)	5.4(7)		
46(24)	43(48)	27(75)	14.1(75)	17.6(24)	3.5(14)	8.8(85)	44(18)	7.4(80)	بیشترین Maximum	
46(75)	42(28)	21(94)	14(76)	16.7(55)	3.3(31)	8.5(78)	42.4(6)	6.6(78)		
43(86)	41.5(47)	20.5(78)	13.9(80)	12.2(58)	3(78)	7.9(62)	42(85)	6.3(44)		
42(11)	41(22)	20(69)	13.8(6)	11.4(62)	2.9(85)	7.5(80)	41.9(75)	6.1(24)		
42(76)	41(35)	19.5(6)	13.4(41)	11.3(33)	2.9(23)	7.5(40)	41.3(41)	6(6)		
41.5(13)	40.5(14)	19(60)	13.4(78)	11.3(39)	2.8(44)	7.5(24)	40(78)	5.6(62)		
27.5(64)	18.5(15)	4.5(81)	2.5(7)	2.6(8)	1.1(7)	1.9(21)	5.8(28)	1.8(47)	کمترین Minimum	
26(1)	18.5(1)	4.5(17)	1.9(81)	2.6(19)	1.1(47)	1.9(64)	5.5(19)	1.8(46)		
25(36)	17(21)	4.5(16)	1.9(19)	2(21)	1.1(15)	1.9(35)	4.9(7)	1.8(8)		
25(19)	16.5(64)	3.5(7)	1.9(50)	1.9(50)	1.1(19)	1.8(83)	4.7(50)	1.7(19)		
24.5(21)	16.5(10)	3(82)	1.2(15)	1.9(64)	1.1(8)	1.8(7)	4(47)	1.4(64)		
24(94)	14(50)	3(92)	1.2(21)	1.8(7)	1.1(1)	1.8(63)	4(1)	1.4(15)		
8.01	5.05	9.01	5.64	5.12	1.12	1.64	8.83	2.12	LSD 0.05	

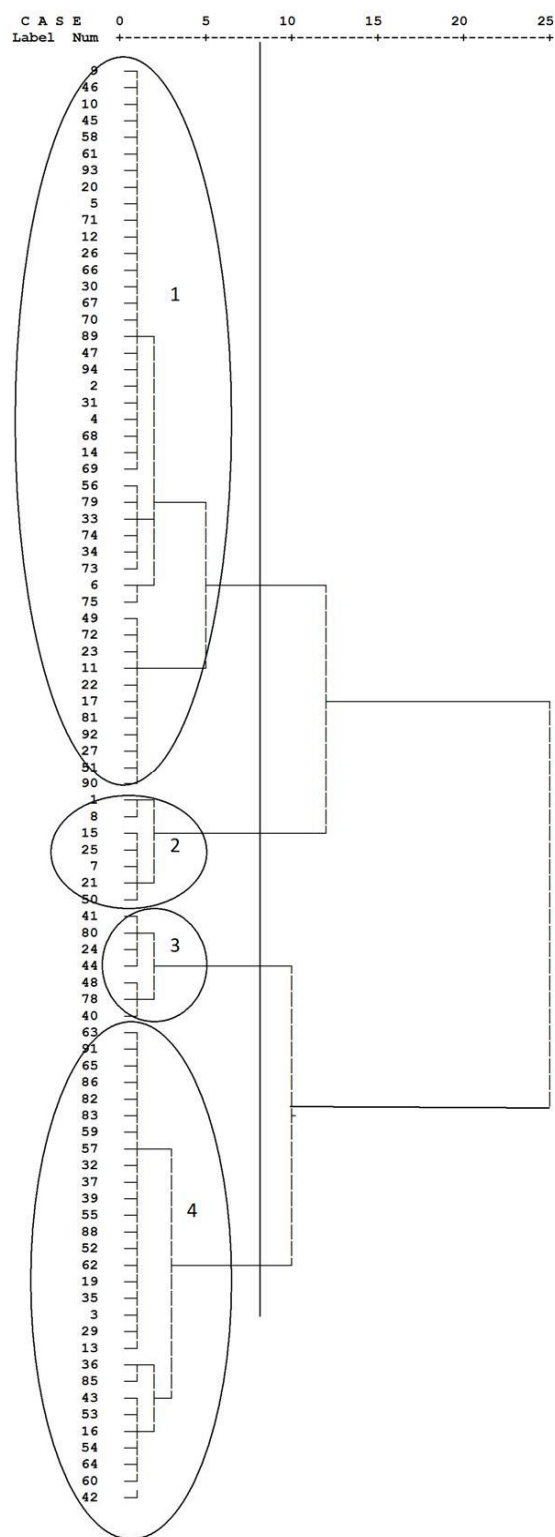
اعداد داخل و خارج پرانتز به ترتیب شماره لاین و مقدار اندازه گیری شده از صفات مورد مطالعه.

Numbers in and outside of parenthese are lines number and the measured value of the studied traits, respectively.



شکل ۱- نمودار درختی ۹۴ لاین دابل هاپلوئید جو تحت شرایط نرمال با استفاده از روش وارد.

Fig. 1. Dendrogram of 94 barely double haploid lines under normal condition using ward method.



شکل ۲- نمودار درختی ۹۴ لاین دابل هاپلوئید جو تحت شرایط تنش سرب با استفاده از روش وارد.

Fig. 2. Dendrogram of 94 barely double haploid lines under stress condition using ward method.

جدول ۹- مقایسه میانگین بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای تحت شرایط تنش سرب.

Table 9. Mean comparison between groups for all traits under stress condition.

گروه‌ها Groups	عملکرد بیولوژیک خشک ^{۱۱} (g)	عملکرد بیولوژیک ^{۱۵} (g)	وزن خشک ^{۱۲} (g)	وزن خشک ^{۱۳} (g)	وزن تر ریشه ^{۱۴} (g)	وزن تر ساقه ^{۱۱} (g)	تعداد برگ ^{۱۰}	طول ریشه ^۹ (cm)	طول ساقه ^۸ (cm)	طول ساقه ^۷ (cm)	سبزیگی ^۶ (mol/cm ²)	سبزیگی ^۷ (mol/cm ²)	سبزیگی ^۱ (mol/cm ²)	سبزیگی ^۲ (mol/cm ²)	فوتوسنتز ^۵ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	هدایت روزانه‌ای ^۴ (mol $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	تغرق ^۳ (mmol $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	CO ₂ زیرروزنه‌ای ^۲ ($\mu\text{mol/mol}$)	دمای سطح برگ ^۱ (°C)
1	1.8 ^b	12 ^b	1.1 ^d	0.6 ^a	9 ^b	3.4 ^b	10 ^b	24 ^b	35 ^a	27.1 ^b	27.9 ^b	3.1 ^c	0.03 ^c	0.8 ^c	1.7 ^c	29.7 ^a			
2	1.6 ^d	10 ^d	1.3 ^b	0.3 ^d	7.5 ^d	2.6 ^d	9 ^c	20 ^d	32 ^b	23.1 ^d	25.3 ^d	2.9 ^d	0.01 ^d	0.5 ^d	1.6 ^d	26.5 ^b			
3	2.2 ^a	16 ^a	1.6 ^a	0.5 ^b	11 ^a	5.6 ^a	11 ^a	27 ^a	31 ^c	29.9 ^a	29.6 ^a	3.7 ^a	0.05 ^a	1.1 ^a	3 ^a	20 ^d			
4	1.7 ^c	11 ^c	1.2 ^c	0.4 ^c	8.5 ^c	3 ^c	8 ^d	22 ^c	30 ^d	25.4 ^c	27.9 ^b	3.4 ^b	0.02 ^b	0.9 ^b	2.3 ^b	23.4 ^c			

Different letters in a column indicate significant difference at 5% probability level.

1. Leaf surface temperature, 2. Sub-stomatal CO₂, 3. Transpiration rate, 4. Inter-cellular CO₂ Concentration, 5. Photosynthesis rate, 6. Plant greenness after 12 days under stress, 7. Plant greenness after 24 under stress, 8. Steam length, 9. Root length, 10. Leaf number, 11. Shoot fresh weight, 12. Root fresh weight, 13. Stem dry weight, 14. Root Dry weight, 15. fresh Biological yield, 16. Dry biological yield

جدول ۱۰- مقایسه میانگین بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای تحت شرایط نرمال.

Table 10. Mean comparison between groups for all traits under normal condition.

گروه‌ها Groups	عملکرد بیولوژیک خشک	عملکرد بیولوژیک ^{۱۵} (g)	وزن خشک	وزن خشک ^{۱۲} (g)	وزن تر ریشه	وزن تر ساقه ^{۱۱} (g)	تعداد برگ	طول ریشه (cm)	طول ساقه (cm)	طول ساقه ^۷ (cm)	سبزیگی ^۲ (mol/cm ²)	سبزیگی ^۱ (mol/cm ²)	سبزیگی ^۳ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	هدایت روزانه‌ای (mol $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	تغرق (mmol $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	CO ₂ زیرروزنه‌ای ($\mu\text{mol/mol}$)	دمای سطح برگ (°C)
1	1.4 ^c	22 ^b	2.3 ^c	1.7 ^b	7.7 ^c	14 ^b	22 ^b	24 ^a	56 ^a	35 ^a	33 ^a	2.5 ^b	0.05 ^b	1.8 ^b	1.9 ^b	31 ^b	
2	4.1 ^b	24 ^a	2.7 ^b	1.8 ^a	8.4 ^b	16 ^a	25 ^a	23 ^b	53 ^b	34 ^b	32 ^b	1.5 ^c	.04 ⁰	1.5 ^c	1.3 ^c	32 ^a	
3	5.6 ^a	21 ^c	3.2 ^a	1.4 ^b	11 ^a	11 ^c	23 ^c	21 ^c	49 ^c	33 ^c	31 ^c	6.5 ^a	0.07 ^a	2 ^a	2.6 ^a	28 ^c	

Different letters in a column indicate significant difference at 5% probability level.

جدول ۱۱- ضرایب همبستگی فنوتیپی صفات مورد مطالعه در شرایط نرمال (اعداد بالای قطر) و در شرایط تنش سرب (اعداد بالای قطر) در ژنوتیپ‌های جو.

Table 11. Phenotypic correlation coefficients under normal conditions (values on upper triangular Matrix) and under stress conditions (values on stress triangular Matrix) in barley Genotype.

صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
۱ دمای سطح برگ ^۱	1	-0.41**	0.21*	-0.14	-0.14	-0.1	-0.21*	-0.06	0.19	-0.02	-0.15	-0.21	4	-0.19	-0.2	-0.14
۲ CO ₂ زیر روزنه‌ای ^۲	-0.56**	1	0.3**	0.29**	0.14	0.04	0.11	-0.21	0.01	0.03	0.1	-0.01	-0.01	-0.01	0.02	-0.01
۳ تعرق ^۳	0.33**	0.26*	1	0.83**	0.79**	0.18	0.16	-0.02	-0.07	0.08	0.24*	0.07	0.18	0.03	0.12	0.09
۴ هدایت روزنه‌ای ^۴	-0.32**	0.6**	0.65**	1	0.80**	0.19	0.23*	0.11	-0.06	0.14	0.35**	0.22*	0.2	0.16	0.27*	0.2
۵ فتوسنتز ^۵	-0.19	0.16	0.61**	0.72**	1	0.22*	0.25*	0.08	-0.19	0.17	0.38**	0.22*	0.26*	0.13	0.28**	0.2
۶ سبزیگی ۱۲ روز بعد از تنش ^۶	0.01	-0.11	-0.07	-0.01	0.13	1	0.59**	0.01	-0.14	0.21	0.24*	0.22*	0.24*	0.19	0.23*	0.25*
۷ سبزیگی ۲۴ روز بعد از تنش ^۷	0.12	-0.11	0.02	0.01	0.09	0.8**	1	-0.03	0.04	0.22*	0.25*	0.15	0.15	0.05	0.19	0.1
۸ طول ساقه ^۸	0.01	-0.02*	-0.09	-0.16	0.01	0.03	0.01	1	-0.02	-0.05	0.28**	0.18	0.24*	0.28**	0.21*	0.31**
۹ طول ریشه ^۹	-0.17	-0.08	-0.33**	-0.24*	-0.16	-0.01	-0.01	0.24*	1	0.07	0.11	-0.02	0.13	-0.08	0.01	-0.02
۱۰ تعداد برگ ^{۱۰}	0.14	-0.1	0.01	-0.01	0.01	0.30**	0.27**	-0.11	-0.03	1	0.62**	0.57**	0.34**	0.34**	0.62**	0.40**
۱۱ وزن تر ساقه ^{۱۱}	-0.08	-0.16	-0.13	-0.12	0.06	0.2	0.16	0.50**	0.2	0.43**	1	0.74**	0.46**	0.62**	0.86**	0.67**
۱۲ وزن تر ریشه ^{۱۲}	-0.44**	0.26*	-0.15	0.08	0.06	-0.01	-0.04	-0.21	0.05	0.01	0.17	1	0.33**	0.63**	0.97**	0.64**
۱۳ وزن خشک ساقه ^{۱۳}	-0.15	-0.12	-0.14	-0.06	0.14	0.23*	0.08	0.36**	0.13	0.29**	0.83**	0.28**	1	0.32**	0.39**	0.63**
۱۴ وزن خشک ریشه ^{۱۴}	-0.40**	0.24*	-0.16	0.06	0.03	-0.01	-0.02	-0.23*	-0.01	-0.08	0.1	0.89**	0.17	1	0.66**	0.93**
۱۵ عملکرد بیولوژیک تر ^{۱۵}	-0.31**	0.03	-0.19	-0.04	0.08	0.14	0.092	0.26*	0.18	0.26*	0.9**	0.68**	0.78**	0.54**	1	0.67**
۱۶ عملکرد بیولوژیک خشک ^{۱۶}	-0.41**	0.15	-0.19	0.03	0.08	0.08	0.01	-0.05	0.05	0.04	0.39**	0.88**	0.56**	0.91**	0.78**	1

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

* and ** Significant at 5% and 1% Probability levels, respectively.

1. Leaf surface temperature, 2. Sub-stomatal CO₂, 3. Transpiration rate, 4. Inter-cellular CO₂ Concentration, 5. Photosynthesis rate, 6. Plant greenness after 12 days under stress, 7. Plant greenness after 24 under stress, 8. Stem length, 9. Root length, 10. Leaf number, 11. Shoot fresh weight, 12. Root fresh weight, 13. Stem dry weight, 14. Root Dry weight, 15. fresh Biological yield, 16. Dry biological yield

و منفی وجود دارد، با افزایش سطح عنصر سرب در محلول غذایی مقادیر این ویژگی‌های نیز کاهش یافت. براساس تجزیه خوشه‌ای در مطالعه حاضر، لاین‌های ۲۴، ۴۰، ۴۱، ۴۴، ۴۸، ۷۸ و ۸۰ در گروه ۳، متحمل به تنش سرب بودند و ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۸، ۱۵، ۲۱، ۲۵ و ۵۰ حساس‌ترین لاین‌ها به تنش شناخته شدند. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در ویژگی‌هایی که تحت تأثیر تنش سرب قرار گرفته‌اند، نشان می‌دهد که لاین‌های مقاوم در شرایط تنش در این ویژگی‌های دارای میانگین بالایی بودند و نسبت به شرایط نرمال پایداری خود را حفظ کردند.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نتایج این مطالعه نشان داد که تعرق، هدایت روزنه‌ای، طول ساقه، وزن‌تر و خشک ساقه، عملکرد زیستی‌تر و خشک بیش‌تر از سایر ویژگی‌ها، تحت تأثیر تنش سرب قرار گرفتند. هم‌چنین، مطالعه روابط همبستگی میان این ویژگی‌های، نشان‌دهنده ارتباط مثبت و معنی‌دار می‌باشد که بیانگر اهمیت توجه به این ویژگی‌ها در برنامه‌های اصلاحی جهت دستیابی به ژنوتیپ‌های مقاوم در برابر مسمومیت با سرب می‌باشد. مقایسه میانگین سطوح تنش به روش LSD (جدول‌های ۲ و ۳) نشان دادند که بین میزان غلظت سرب و ویژگی‌های مورد بررسی رابطه مستقیم

منابع

1. Abdolazadeh, N., Fotovat, R., Shekari, F. and Alavi-siney, S.M. 2016. Evaluation and selection of barley *Hordum Vulgare* L. doubled haploid genotypes based on root traits in seedling stage. J. Environ. Crop. Sci. Stre. 9: 395-405. (In Persian)
2. Ahmadi, A. and Beiker, D.A. 2000. Stomatal and non stomatal limitations of wheat plant. Iranian. J. Agric. Sci. 31: 813-825. (In Persian)
3. Alavi-siney, S.M., Saba, J., Nasiri, J. and Soleimani, K. 2013. Analysis of physiologies traits in beard wheat genotypes under dry land conditions. J. Seed Plant Improv. 29: 537-659. (In Persian)
4. Atafar, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homaei, M., Yunesian, M., Ahmadimoghaddam, M. and Mahvi, A. H. 2010. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. Environ. Monit. Assess. 160: 83-89. (In Persian)
5. Bromandjozei, S.H., Ranjbar, M. and Lariyazdi, H. 2011. Investigation of the destructive effects of lead metal on rapeseed growth parameters and the effect of salicylic acid on reduction of the destructive effects of lead metal. Quartr. Fin. Sci. 8: 281-294. (In Persian)
6. Chen, F., Dong, J., Wang, F., WU, F., Zhang, G., LI, G., Chen, Z., Chen, J. and Wei, K. 2007. Identification of barley genotypes with low grain Cd accumulation and its interaction with four microelements. Chemosph. J-E. 6: 2082-2088.
7. Costa, J.M., Corey, A., Hayes, P.M., Jobet, C., Kleinhofts, A., Kopisch-Obusch, A., Karner, S.F., Kurna, D.L., Riera-Lizarazu, M.O., Sato, K., Szucs, P., Toojinda, T., Vales, M.I. and Wolfe, R.I. 2001. Molecular mapping of the Oregon. *Wolfe barleys*: A phenotypically polymorphic doubled-haploid population. Theor. Appl. Genet. J. 103: 415-424.
8. Davari, M., Homayi, M. and Khodaverdilo, H. 2010. Modeling Phytoremediation of Ni and Cd from contaminated soils using macroscopic transpiration reduction functions. J. Water Soil Sci. Isfahan Univ. 52: 75-85. (In Persian)
9. Gharebaghi, N., Jafari, H., Saidnematpor, F., Taheri, M. and Sohrabi, E. 2012. Locating related genes is an effective physiological indicator of tolerance to cadmium in the *Hordeum Vulgare*. Proceedings of 1th National conference on plant abiotic stress. Isfahan Univ. (In Persian)

10. Ghasemisiani, N., Fallah, S.A. and Rostaminejad, A. 2017. Comparison between toxicity effects of ZnO nanoparticles and their bulk on Fenugreek (*Trigonella foenumgraceum*) growth under greenhouse environment. *J. Plant Prod. Res.* 24: 2. 23-42. (In Persian)
11. Ghelich, S., Zarinkamar, F. and Niknam, V. 2013. Lead accumulation and its effects on peroxidase activity phenolic and flavonoid compounds in seedling of *Medicago sativa* L. *Iran. J. Plant Res.* 28: 164-174. (In Persian)
12. Goedeke, S., Hensel, G., Kapusi, E., Gahrtz, M. and Kumlehn, J. 2007. Transgenic barley in fundamental research and biotechnology. *Transgen. Plant J.* 1: 1. 104-117.
13. Gupta, P.K. 2000. Soil, plant, water and fertilizer analysis. Agrobios, New Dehli, India. 438p.
14. Hung, S.H., Yu, C.W. and Lin, C.H. 2006. Hydrogen peroxide functions as a stress signal in plants. *Bot. Stud. Bull. Acad. J.* 46: 1-10.
15. Ikenaka, Y., Nakayama, S.M.M., Muzandu, K., Choongo K., Teraoka, H., Mizuno, N. and Ishizauka, M. 2010. Heavy metal contamination of soil and sediment in Zambia. *Afr. J. Environ. Sci.* 4: 11. 729-739.
16. Jobson, Y. 2012. Applied multivariate data analysis. Volum II: Categorical and multivariate methods springer science and Business media. Pp: 131-207.
17. Karimi, R. 2006. Plants for contaminated soils, cadmium Lead and Nickel. Proceedings of 3th National symposium .Esfahan. Iran. Pp: 203-222. (In Persian)
18. Karimi, N., Khanahmadi, M. and Moradi, B. 2013. The effects of lead on some physiological parameters of Artichoke. *J. Plant Prod.* 20: 1. 49-62. (In Persian)
19. Kaznina, N.M., Titov, A.F., Topchieva, L.V., Batova, Y.V. and Laidinen, G.F. 2013. The Content of *HvHMA2* and *HvHMA3* Transcripts in Barley Plants Treated with Cadmium. *Russion, J. Plant Physiol.* 61: 3. 355-359.
20. Khoshgoftarmanesh, A.H., Sharifi, H.R., Afiuni, D. and Schulin R., 2012. Classification of wheat genotypes by yield and densities of grain zinc and iron using cluster analysis. *J. Geochem. Exp.* 121: 49-54. (In Persian)
21. Kopittke, M., Asher, P.J. and Mensies, N. 2007. Toxic effect of Pb²⁺ on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *J. Environ. Pollut.* Pp: 1-8.
22. Mahdavian, K., Ghaderian, S.M. and Torkzadeh Mahani, M. 2016. The effect of different concentrations of Lead on some physiological parameters in two populations of Harmal *Peganum harmala* L. *J. Cell Tiss. Res.* 20: 543-555.
23. Maiti, S.K. and Kumar, A. 2016. Energy plantations, medicinal and Aromatic plants on contaminated soil. P 29-47, In: M.N.V Prasad (eds), Bioremediation and Bioeconomy, Departement of plant Sciences, University of Hyderabad, Telangana, India.
24. Marchiol, L., Assolari, S., Fellet, G. and Zerbi, G. 2006. Germination and seedling growth of indian mustard exposed to cadmium and chromium. *Ital. J. Agron.* 1: 1. 45-50.
25. Nakbanpote, W. and Meesungnoen, O. 2016. Potential of ornamental plants for phytoremediation of heavy metals and income generatin. P 170-217, In: M.N.V Prasad (eds), Bioremediation and Bioeconomy, Departement of plant Sciences, University of Hyderabad, Telangana, India.
26. Pallavi, S. and Rama, S.D. 2005. Lead toxicity in plants. *Braz J. Plant Physiol.* 17: 1. 15-22.
27. Pourmoghadas, H. and Zafarzadeh, A. 2017. Effect of Applying chemical fertilizers on concentration of Cd, Pb and Zn in Agricultural soils. *J. Environ. Health Engin.* 4: 2. 126-138. (In Persian)
28. Salehi, M. 2014. QTL mapping of cadmium toxicity in barley resistance. M.Sc. thesis , Faculty of Agriculture. University of Zanjan, Iran. (In Persian)
29. Schnurbusch, T., Hayes, Y., Hrmova, M., Baumann, U.A., Ramesh, S.D., Tyerman, S., Langridge, P. and Sutton, T. 2010. Boron toxicity tolerance in Barely through reduced expression of the multifunctional aquaporin HVNIP2:1. *Plant Physiol.* 153: 1706-1723.

30. Sharma, P. and Dubey, R.S. 2005. Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 17: 35-52.
31. Sharma, R.K., Agrawal, M.S. and Agrawal, B. 2008. Interactive effects of cadmium and zinc on carrots: growth and biomass accumulation. *J. Plant Nutr.* 31: 19-34.
32. Sheng, T., Qian, Q., Dali, Z., Yasufumi, K., Kan, F., Danian, H. and Lihuang, Z. 2004. Qtl analysis of leaf photosynthetic rate and related physiological traits in rice *Oryza Sativa* L. *Euphytica.* 135: 1-70.
33. Vassilev, A. 2002. Physiological and agroecological aspects of cadmium interactions with barley plants. *J. Cent Eur Agric.* 4: 1. 66-68.
34. Verona, C. and Calcagn, F. 1991. Study of stomatal parameters for selection of drought resistant varieties in *Triticum durum*. *Euphytica.* 57: 275-283.
35. Vollen Weider, S., Cosio, C. and Keller, C. 2006. Localization and effects of cadmium of cadmium- tolerant willow *Salix viminalis* I. macrolocalization and phytotoxic effects of cadmium. *Environ. Exp. Bot. J.* 58: 64-74.
36. Wang, F., Chen, F., Cai, Y., Zhang, G. and Wu, F. 2011. Modulation of exogenous glutathione in ultrastructure and photosynthetic performance against Cd stress in two barley genotypes differing Cd tolerance. *Biol. Trace Elem. Res.* 144: 1-3. 1275-88.
37. Yaghobian, Y., Siadat, S.A., Moradi Talavat, M.R. and Pirdashti, H.A. 2016. Quantify the response of growth and chlorophyll fluorescence parameters of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) plant to cadmium concentration in the soil, *J. Plant Prod. Res.* 23: 2. 165-185. (In Persian)
38. Yang, Q., Zhang, D. and Xu, M. 2012. A sequential quantitative trait locus Fine - mapping strategy using recombinant - Derived Progeny: *J. Integr. Plant Biol.* 54: 4. 228-237.
39. YU, D., Yan, X., Wang, H. and Wang, F. 2006. Response of submerged plant *Vallisneria Espinulosa* clones to lead stress in the heterogeneous soil. *Chemosphere.* 63: 1459-1465.

