ژنتیک نوین
دوره چهاردهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸
صفحه ۲۶۲ - ۲۵۱

برآوردهای پارامترهای ژنتیکی و توارث‌پذیری صفات دخیل در فرآیند فتوسنتز در توده‌های گندم وحشی *Aegilops tauschii* تحت شرایط تنش کم آبی

Estimation of genetic parameters and heritability of photosynthetic-related traits in *Aegilops tauschii* accessions under water deficit stress

علیرضا پورابوقداره*[۱]، منصور امیدی[۲]، محمدرضا نقوی[۲]، علیرضا اطمینان[۳]، علی‌اشرف مهرابی[٤]

۱- پژوهشگر پسادکتری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳- استادیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
٤- دانشیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

Pour-Aboughadareh A[1*], Omidi M[2], Naghavi MR[2], Etminan A[3], Mehrabi AA[4]

1. Post Doc. Researcher, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Professors, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Assistant Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
4. Associate Professor, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.poraboghadareh@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۷ - تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۲۷)

چکیده

خویشاوندان وحشی گندم یکی از مهم‌ترین ذخایر ژنتیکی برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی گندم می‌باشند. در این تحقیق یک مجموعه متشکل از ٤۹ توده گندم دیپلوئید وحشی واجد ژنوم D (*Aegilops tauschii* Coss.) در دو شرایط عدم تنش و تنش کم آبی از نظر برخی از صفات مرتبط با فرآیند فتوسنتز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس در شرایط تنش کم آبی نشان داد بین توده‌های مختلف از نظر صفات میزان کلروفیل a، کلروفیل b، محتوای کل کلروفیل، ظرفیت فتوسنتزی، حداکثر کارایی فیتوشیمیایی فتوسیستم II و بیوماس‌های تر و خشک گیاهچه اختلاف معنی‌داری وجود داشت. تنش کم آبی موجب کاهش کلیه صفات شد و بیش‌ترین میزان کاهش مربوط به بیوماس تر و خشک و هم‌چنین میزان کلروفیل b بود. علاوه براین، پارامترهای ژنتیکی نیز متأثر از شرایط تنش بودند به‌طوری‌که در شرایط تنش کم آبی میزان وراثت‌پذیری صفات افزایش یافت. در شرایط تنش کم آبی میزان پیشرفت ژنتیکی صفات اندازه‌گیری شده نیز افزایش یافت و دامنه آن بین ٥٤/٠٤ - ٣/٤٦ متغیر بود. بیش‌ترین مقدار پیشرفت ژنتیکی مربوط به صفات بیوماس تر (٥٤/٠٤ درصد)، میزان کلروفیل b (۲۹/۹۳) و ظرفیت فتوسنتزی (٢٦/٤٤ درصد) بود. تحت هر دو شرایط محیطی، بیش‌ترین میزان ضرایب تغییرات محیطی (ECV)، فنوتیپی (PCV) و ژنوتیپی (GCV) نیز مربوط به صفات بیوماس تر گیاهچه، کلروفیل b و ظرفیت فتوسنتزی بود. به‌طورکلی با توجه به وجود سطح بالایی از تنوع ژنتیکی در گونه *Ae. tauschii* و بالا بودن میزان وراثت‌پذیری صفات اندازه‌گیری شده در این گونه، انجام مطالعات تکمیلی بر روی این منابع ژرم‌پلاسمی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی

پیشرفت ژنتیکی
حداکثر کارایی فیتوشیمایی فتوسیستم II
ضرایب تنوع
ژنوم D

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

مقدمه

در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی به‌واسطه بروز تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی، گرما و شوری بر تولید محصولات کشاورزی تأثیر چمشگیری داشته است. در بین تنش‌های غیرزنده، خشکی یا کم آبی از لحاظ وقوع، شدت و طول دوره آن غیرقابل پیش‌بینی بوده و این تنش به‌عنوان شایع‌ترین تنش غیرزیستی در گیاهان با محدود کردن بخش قابل توجهی از اراضی کشاورزی جهان، عامل اصلی کاهش عملکرد بعد از عوامل بیماری‌زا در گیاهان زراعی می‌باشد (Biglouie et al. 2010). در مناطق خشک و نیمه خشک، یکی از راه حل‌های مناسب جهت مقابله با اثرات سوء محدودیت منابع آب، تهیه ارقام گندم متحمل به شرایط کم آبی و افزایش راندمان و کارایی مصرف آب می‌باشد. لذا به‌نظر می‌رسد در این مناطق، به‌نژادگران نیاز به درک عمیق فرایندهای تعیین کننده عملکرد محصول دارند (Blum et al. 1989). از این‌رو، شناسایی عوامل و صفات مؤثر در عملکرد محصول در این محیط‌ها می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی و مدیریت بهتر منابع آبی فعلی ارزشمند باشد. علاوه براین، غربالگری ژرم‌پلاسم‌گندم از نظر خصوصیات مهم فیزیولوژیک و بیوشیمایی و هم‌چنین بهره‌مندی از ژن‌های مقاومت جهت به‌کارگیری آن‌ها در اصلاح ارقام متحمل به تنش برای مناطق خشک و نیمه خشک کشور یکی از اهداف مهم در تولید پایدار می‌باشد.

با توجه به محدودیت تنوع ژنتیکی قابل استفاده در گونه‌های زراعی اصلاح شده برای سازگاری به تغییرات اقلیمی و بنابراین شانس ضعیف دستیابی به تنوع آللی جدید در این ذخایر، استفاده از خویشاوندان وحشی و گونه‌های بیگانه می‌تواند یک منبع ژنی غنی و متنوع از آلل‌های جدید و ایده آل را برای به‌نژادگران فراهم آورد (Hajjar and Hodgkin 2007). ارقام بومی و خویشاوندان وحشی آن‌ها، به‌دلیل قدمت و سازگاری به شرایط زیستی و عوامل نامساعد محیطی، دارای مناسب‌ترین ژن‌ها بوده و تنوع ژنتیکی مورد نیاز به‌نژادگران را تأمین می‌نمایند. در واقع اهمیت گونه‌های وحشی برای بشر در حال و آینده اساساً به‌خاطر ژن‌های موجود در آن‌ها است، چه ژن‌هایی که مقاومت به بیماری، کیفیت مواد غذایی و سازگاری به شرایط نامساعد را کنترل می‌کنند و چه آن‌هایی که در حال حاضر ناشناخته هستند و در آینده می‌توانند بسیار ارزشمند باشند. تاکنون مطالعات فراوانی در رابطه با قابلیت گونه‌های خویشاوند وحشی گندم در برابر تنش خشکی صورت گرفته است به‌طوری‌که نتایج حاصل از این تحقیقات زمینه را جهت بررسی دقیق‌تر برخی از گونه‌های موجود در ژرم‌پلاسم گندم را فراهم کرده‌اند (Pour-Aboughadareh et al. 2018).

گونه *Aegilops tauschii* Coss. یکی از مهم‌ترین خویشاوندان وحشی گندم بوده که با ساختار ژنومی خود (DD) نقش بسزایی در تکامل گندم‌های هگزاپلوئید ایفا کرده است. گزارش شده‌است که نواحی شمالی ایران یکی از خواستگاه‌های اولیه و مرکز توزیع و پراکنش این گونه به سایر نواحی جغرافیایی می‌باشد (Kilian et al. 2007). بر اساس مطالعات انجام شده مشخص شده‌است که این گونه همانند سایر خویشاوندان وحشی دارای قابلیت بالایی در تطبیق خود با شرایط نامساعد محیطی مانند خشکی، شوری، گرما، سرما و غیره بوده و از این‌رو به‌عنوان یکی از غنی‌ترین ذخایر توارثی گندم محسوب می‌شود (Zamani Babgohari et al. 2013; Hairat and Khurana 2015; Masoomi-Aladizgeh et al. 2015). بنابراین، وجود چنین قابلیت‌هایی سبب شده است تا همراه به‌نژادگران در زمینه‌های مختلف به بررسی این گونه – ژرم‌پلاسمی بپردازند.

پیشرفت در به‌نژادی گندم غالباً با گزینش و خالص‌سازی مخلوط ژنتیکی واریته‌های بومی و یا جمعیت‌های حاصل از دورگ‌گیری لاین‌های مطلوب انجام می‌گیرد، این امر سبب کاهش تنوع ژنتیکی یا به اصطلاح فرسایش ژنتیکی شده‌است. از طرف دیگر، فعالیت‌های بشر یکی از عوامل کاهش تنوع ژنتیکی در بسیاری از گونه‌های گیاهی بوده است که این کاهش تنوع ژنتیکی ممکن است برنامه‌های اصلاحی برای صفات مهم را محدود سازد. تاکنون مطالعات گسترده‌ای در رابطه با ارزیابی تنوع ژنتیکی موجود در گونه *Ae. tauschii* با استفاده از انواع نشانگرهای مورفولوژیکی و مولکولی صورت گرفته و در اکثر آن‌ها سطح بالایی از میزان تنوع ژنتیکی گزارش شده‌است (Jafaraghaei et al. 2008; Tahernezhad et al., 2009; Chhuneja et al. 2010; Naghavi et al. 2010; Pour- Aboughadareh et al. 2017b).

اگرچه مطالعات متعددی نیز در خصوص ارزیابی صفات مورفولوژیکی و روابط بین صفات در گونه *Ae. tauschii* انجام

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

شده، با این‌حال اطلاعات مختصری در مورد تنوع صفات فیزیولوژیکی و هم‌چنین نحوه توارث آن‌ها موجود است.

فرآیند فتوسنتز یکی از حیاتی‌ترین فرآیندهای زیستی است که بقای گیاهان سبز به آن وابسته است. فلورسانس کروفیل به‌عنوان یک شاخص مهم برای اندازه‌گیری تأثیر تنش‌های محیطی بر گیاه و تعیین مقاومت آن‌ها می‌باشد (Moffatt et al. 1990). در واقع، مقدار فلورسانس کلروفیل، سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم I نشان می‌دهد که بالا بودن این مقدار می‌تواند بیانگر وضعیت فتوسنتزی مناسب گیاه در شرایط تنش باشد (Bhardway and Singhtl 1981). شاخص عملکرد کوانتوم (حداکثر کارایی فیتوشیمیایی PSII) همبستگی بالایی با تحمل به خشکی و بیوماس گیاهچه در شرایط تنش خشکی دارد (Pour-Aboughadareh 2017a). علاوه بر این، در یک بررسی انجام شده بر روی برخی از ارقام جو مشخص شده‌است که ارقام متحمل به تنش شوری نسبت به ارقام حساس عملکرد کوانتوم بالاتری دارند. به‌عبارت دیگر، کارایی سیستم نوری II در ارقام متحمل بیش‌تر بوده است (Ramzi and Morales 1994). تنش خشکی همچنین اثرات نامطلوبی بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کارتنوئیدها) دارد، به‌طوری‌که با تشدید تنش خشکی میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش یافته که مهم‌ترین پیامد آن کاهش ساخت و ساز مواد غذایی و رشد گیاه خواهد بود (Behra et al. 2002).

بررسی نحوه توارث، نوع عمل ژن‌ها و تعیین استراتژی مؤثر اصلاحی در جهت بهبود صفات مورفو-فیزیولوژیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Kamalizadeh et al. 2013). در واقع وجود این اطلاعات به به‌نژادگر کمک می‌کند تا درک صحیحی از عمل ژن‌های کنترل کننده صفات مختلف را به‌دست آورد (Roff and Emerson 2006). با توجه به اینکه صفات کمی به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی بوده و از میزان توارث پایینی برخوردار هستند، لذا اصلاح این صفات به صورت غیر مستقیم می‌تواند یک روش مؤثر در جهت بهبود آن‌ها به ویژه در شرایط خشکی باشد. نظر به این‌که گونه *Ae. tauschii* دارای ظرفیت قابل توجهی در برابر انواعی از تنش‌های محیطی است، هدف از این تحقیق بررسی تنوع ژنتیکی موجود در مجموعه‌ای از توده‌های این گونه از نظر صفات دخیل در فرآیند فتوسنتز و همچنین برآورد پارامترهای ژنتیکی و بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی آن‌ها بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های مورد ارزیابی شامل ٤٩ توده *Ae. tauschii* بود که بذور آن‌ها از بانک ژن غلات دانشگاه ایلام فراهم شد (جدول ١).

جدول ١- لیست توده‌های *Ae. tauschii* ارزیابی شده در این پژوهش

شماره	کد بانک ژن	شماره	کد بانک ژن	شماره	کد بانک ژن
١	NPGBI-01-	١٨	IUGB-00366	٣٥	IUGB-00396
٢	IUGB-00020	١٩	IUGB-00369	٣٦	IUGB-00400
٣	IUGB-00107	٢٠	IUGB-00402	٣٧	IUGB-00401
٤	IUGB-00164	٢١	IUGB-00151	٣٨	IUGB-00404
٥	IUGB-00193	٢٢	IUGB-00291	٣٩	IUGB-00405
٦	IUGB-00196	٢٣	IUGB-00382	٤٠	NPGBI-01-1970
٧	IUGB-00198	٢٤	IUGB-00238	٤١	NPGBI-01-2120
٨	IUGB-00039	٢٥	IUGB-00249	٤٢	IUGB-00297
٩	IUGB-00223	٢٦	IUGB-00367	٤٣	IUGB-01746
١٠	IUGB-00224	٢٧	IUGB-00273	٤٤	NPGBI-50006
١١	IUGB-00245	٢٨	IUGB-00274	٤٥	NPGBI-50084
١٢	IUGB-00247	٢٩	IUGB-00276	٤٦	NPGBI-01-0312
١٣	IUGB-00260	٣٠	IUGB-00279	٤٧	NPGBI-01-0804
١٤	IUGB-00261	٣١	IUGB-00289	٤٨	NPGBI-01-1559
١٥	IUGB-00143	٣٢	IUGB-00374	٤٩	IUGB-00141
١٦	IUGB-00325	٣٣	IUGB-00383		
١٧	IUGB-00365	٣٤	IUGB-00386		

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

آزمایش در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی واقع در پردیس کشاورزی دانشگاه تهران با شرایط بهینه (دوره نوری ۱۶: ۸ (روشنایی : تاریکی) و شرایط دمایی ۲۵ – ۲۰ درجه سلسیوس) اجرا شد. بذور هر یک از توده‌های مورد مطالعه درون گلدان‌های پلاستیکی (۴۰ × ۲۰ سانتی‌متری) حاوی مخلوطی از خاک زراعی و ماسه با نسبت ۳:۱ (ماسه : خاک) کشت شد. پس از جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌ها، در هر گلدان تعداد ۵ بوته نگهداری و مابقی گیاهچه‌ها حذف شدند. مواد گیاهی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. در این آزمایش دو سطح فاقد تنش و واجد تنش کم آبی به‌عنوان فاکتور اول و توده‌های مورد بررسی (۴۹ توده) به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شدند. آبیاری به‌صورت منظم و بر اساس نیاز گیاه هفته‌ای دو الی سه بار صورت گرفت. پس از رشد و استقرار گیاهچه‌ها شرایط اعمال تنش کم آبی در مرحله سه برگی و بر اساس ظرفیت زراعی مزرعه (FC) و در دو سطح فاقد تنش (۱۰۰ ٪= FC) و تنش کم آبی (۳۰ ٪= FC) و بر اساس دستورالعمل Souza et al. (2000) تعیین شد. تنش کم آبی به مدت سه هفته اعمال و پس از ظهور علائم آن برخی از صفات فیزیولوژیکی و بیوماس تر و خشک گیاهچه به شرح زیر اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی بر اساس دستورالعمل Lichtenthaler and Wellburn (1983) صورت گرفت. به‌طور خلاصه، ابتدا ۰/۱ گرم نمونه برگی از هر یک از توده‌های مورد ارزیابی با استفاده از ازت مایع پودر و سپس درون فالکون ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شد و سپس ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد به آن اضافه شد. پس از ورتکس فالکون‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شرایط تاریکی و در محیط انکوباتور قرار داده شدند. سپس هر یک از نمونه به مدت ٤ دقیقه سانتریفیوژ (۵۰۰۰ rpm) و در نهایت ۳۰۰ مایکرولیتر از عصاره به دست آمده در طول موج‌های ٤٧٠، ٦٤٩ و ٦٦٥ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (Biotech, EON) برای محاسبه فرمولی میزان کلروفیل a، کلروفیل b و محتوای کاراتنوئید برگ به شرح زیر قرائت شد:

$$\text{Chl a} = [(13.95 \times A665) - (6.88 \times A649)]$$

$$\text{Chl b} = [(24.96 \times A649) - (7.32 \times A665)]$$

$$\text{Chl T} = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

$$\text{CAR} = [(1000 \times A470) - (2.05 \times \text{Chl a}) - (114.8 \times \text{Chl b})] / 245$$

شاخص کلروفیل فلورسانس با استفاده از دستگاه فلورومتر مدل Opti-Science OS-30p اندازه‌گیری شد. با استفاده از این دستگاه دو پارامتر حداقل فلورسانس (*Fo*) و حداکثر فلورسانس (*Fm*) ارزیابی شد که به ترتیب نشان دهنده حداقل و حداکثر فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی هستند در حالاتی که اولین پذیرنده الکترون از کمپلکس فتوسیستم II (PSII) در حداکثر حالت اکسید و احیای خود قرار دارد. بر اساس مقادیر *Fm* و *Fo* شاخص حداکثر کارایی فیتوشیمیایی فتوسیستم II (*Fv/Fm*) که بیانگر حداکثر کارایی در جذب نور توسط کمپلکس‌های جمع کننده نوری PSII و تبدیل آن به انرژی فتوشیمیایی می‌باشد از طریق رابط زیر محاسبه شد.

$$\text{حداکثر کارایی فیتوشیمیایی فتوسیستم II} = Fv / Fm$$

$$Fv = Fm - Fo$$

حداکثر عملکرد فتوشیمیایی که بیانگر حداکثر عملکرد فتوشیمیایی PSII می‌باشد که به‌عنوان تخمینی از ظرفیت فتوسنتزی برگ در نظر گرفته می‌شود. این معیار نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{ظرفیت فتوسنتزی} = Fv / Fo$$

پس از ارزیابی صفات فوق وزن تر کلیه اندام‌های هوایی موجود در هر واحد آزمایشی با استفاده از ترازوی دقیق به‌عنوان بیوماس تر بخش‌های هوایی توزین شد. سپس اندام‌های هوایی با استفاده از پاکت کاغذی به درون آون با شرایط دمایی ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ٤٨ ساعت منتقل شدند و وزن خشک آن‌ها به‌عنوان بیوماس خشک تک بوته در نظر گرفته شد. پس از جمع‌آوری داده‌های آزمایشی تجزیه واریانس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌صورت جداگانه برای هر یک از شرایط بدون تنش و تنش کم آبی انجام شد. بر اساس مقادیر امید ریاضی، واریانس‌های محیطی، ژنوتیپی و فنوتیپی محاسبه شدند. علاوه براین، میزان ضرایب تغییرات محیطی (ECV)، فنوتیپی (PCV) و ژنوتیپی (GCV) هر یک از صفات بر اساس روابط زیر محاسبه شد:

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

$$ECV = \frac{\sqrt{V_E}}{\bar{X}} \times 100$$

$$PCV = \frac{\sqrt{V_P}}{\bar{X}} \times 100$$

$$GCV = \frac{\sqrt{V_G}}{\bar{X}} \times 100$$

VE، VP، VG و $\bar{X}$ به‌ترتیب بیانگر واریانس محیطی، واریانس فنوتیپی، واریانس ژنوتیپی و میانگین صفت مورد نظر می‌باشد. پس از برآورد پارامترهای ژنتیکی میزان وراثت‌پذیری عمومی (H) و هم‌چنین درصد پیشرفت ژنتیکی بر حسب میانگین (GA) با در نظر گرفتن ۱۰ درصد شدت انتخاب با استفاده از معادلات زیر محاسبه شدند:

$$H = \frac{V_G}{V_P} \times 100$$

$$GA = \frac{[2.06 \times H \times \sqrt{V_P}]}{\bar{X}} \times 100$$

نتایج

نتایج تجزیه واریانس صفات در هر یک از شرایط محیطی به تفکیک در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در شرایط عدم تنش، از نظر کلیه صفات به‌جز میزان کاراتنوئید و شاخص *Fv/Fm* اختلاف معنی‌داری بین توده‌های مورد وجود داشت. در شرایط تنش کم آبی نیز از نظر کلیه صفات به جر محتوای کاراتنوئید برگ اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. در واقع این نتایج بیانگر پاسخ متفاوت توده‌های ارزیابی شده به شرایط تنش بوده که امکان شناسایی توده‌های *Ae. tauschii* متحمل به تنش کم آبی را فراهم می‌کند.

به‌منظور بررسی اثر تنش کم آبی بر هر یک از صفات اندازه‌گیری شده میزان تغییرات نسبی هر یک از صفات در مقایسه با شرایط عدم تنش محاسبه شد. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۲، صفات بیوماس خشک اندام‌های هوایی و به‌دنبال آن میزان کلروفیل b و بیوماس تر اندام‌های هوایی از بیشترین میزان تأثیرپذیری از شرایط تنش کم آبی برخودار بودند و میانگین آن‌ها در شرایط تنش نسبت به شرایط عدم تنش به‌ترتیب ۵۹/۳۰، ٤٤/۱۸ و ۳۳/۳۲ درصد کاهش یافت. هم‌چنین تنش کم آبی منجر به کاهش صفات *Fv/Fm* و *Fv/Fo* شد (به‌ترتیب ۲۰/۵۲ و ۱۳/۹۲ درصد) شد. به‌منظور شناسایی توده‌های متحمل به تنش کم آبی از نظر بیوماس اندام‌های هوایی و همچنین صفات فتوسنتزی از روش رتبه‌بندی Ketata et al. (1989) استفاده شد. در این روش ابتدا رتبه هر توده از نظر صفات مختلف محاسبه و توده برخوردار از کمترین میانگین رتبه و انحراف معیار به‌عنوان توده برتر شناسایی می‌شود. با توجه به اینکه در این مطالعه مقادیر بالای صفات اندازه‌گیری شده مطلوب هستند از این‌رو رتبه یک برای بیشترین مقادیر در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج مندرج در جدول ۳ توده‌های شماره ۹، ۱۳، ۱۵، ۲۱، ۳۰، ۳۸، ٤۱ و ٤۸ دارای کمترین مقادیر میانگین رتبه و هم‌چنین انحراف استاندارد پایین تا متوسط بودند، از این‌رو در مقایسه با سایر توده به‌عنوان متحمل‌ترین توده‌ها نسبت به شرایط تنش کم آبی شناسایی شدند. مقادیر هر یک پارامترهای ژنتیکی و میزان وراثت‌پذیری صفات به‌همراه ضرایب تنوع محیطی و ژنتیکی در جدول ۲ نشان داده شده‌است. در شرایط عدم تنش، تمامی صفات به‌جز میزان کلروفیل a و کاراتنوئید از مقادیر بالای وراثت‌پذیری برخوردار بودند (۳۰ درصد <) و بیش‌ترین میزان آن مربوط به میزان کلروفیل b و *Fv/Fm* بود (به‌ترتیب ٦٤ و ٦۰ درصد). با مقایسه مقادیر پیشرفت ژنتیکی (GA) صفات مشخص شد بیوماس تر اندام‌های هوایی (۲۸/٦۰ درصد) و میزان کلروفیل b (۲۳/۲۲ درصد) نسبت به سایر صفات از بیش‌ترین درصد GA برخوردارند. هم‌چنین بر اساس ضرایب تنوع مشخص شد که صفات میزان کلروفیل b، ظرفیت فتوسنتزی و بیوماس تر اندام‌های هوایی دارای بیش‌ترین میزان ضرایب تنوع فنوتیپی (PCV)، تنوع ژنوتیپی (GCV) و محیطی (ECV) بودند.

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9] [Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9] [Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]

جدول ۲- تجزیه واریانس، مقادیر پارامترهای ژنتیکی، وراثت‌پذیری، میزان پیشرفت ژنتیکی و ضرایب تغییرات محیطی، فنوتیپی و ژنوتیپی برای صفات اندازه‌گیری در دو شرایط عدم تنش و تنش کم آبی

منابع تغییر	درجه آزادی	عدم تنش								تنش کم آبی							
		Chl a	Chl b	Chl T	CAR	*Fv/Fm*	*Fv/Fo*	SFW	SDW	Chl a	Chl b	Chl T	CAR	*Fv/Fm*	*Fv/Fo*	SFW	SDW
بلوک	۲	۳۸/٤٤	۸۲/۹۰	۲۳۳/۰۷	۱/۱٦	۰/۱٥	۸۳/۲۲	۰/۳٦	۰/۱۱	۲۸/٤۱	٤۸/۳٦	۱٥۰/۸۷	۰/٦٦	۰/۰۰٤	۱/۷۳	۰/۱٦	۰/۰۰۲
توده	٤۸	۳/۱۰**	٦/۱۷**	۱٥/۰۸**	۰/۱٤ns	۰/۰۱ns	۱/۷۸*	۰/۲٥*	۰/۰۱*	۲/۳۲**	۳/۲۰**	۱۰/۰۲**	۰/۰۷ns	۰/۰۰۳**	۱/۲٦**	۰/۱۹**	۰/۰۰٤**
خطا	۹٦	۲/٥۸	۲/۲۱	۷/٥٤	۰/۱۳	۰/۰۰٤	۱/۲۱	۰/۱۱	۰/۰۰۳	۰/۸۸	۱/٤٥	٤/۰۱	۰/۰٦	۰/۰۰۲	۰/۳٦	۰/۰٦	۰/۰۰۱
میانگین		۱۱/٥٦	٦/۹۸	۱۸/٥٤	۱/۷۹	۰/۷۹	٤/۱۹	۱/۰۰	۰/۷۲	۹/۳۲	۳/۸۹	۱۳/۲۱	۱/٦۷	۰/٦۳	۳/٦۱	۰/٦۷	۰/۲۹
حداقل		۷/۷۸	٤/٦٦	۱۳/٤۹	۱/۱۸	۰/٦۱	۲/۸۳	۰/٤٦	۰/٦٤	۷/۳۷	۲/۱٦	۹/٦۳	۱/۳۷	۰/٥۳	۱/۳۹	۰/۲۳	۰/۲۳
حداکثر		۱۳/۷٤	۹/۷۳	۲۲/۹۸	۲/۱٤	۰/۸٥	۷/۰۲	۱/٥۹	۰/۸٥	۱۱/۲۹	٦/۲۲	۱۷/۱٤	۲/۰۳	۰/٦۸	٥/٤٦	۱/۳۷	۰/٤۰
R (%)		۱۹/٤۱	٤٤/۱۸	۲۸/۷۳	٦/٦۹	۲۰/٥۲	۱۳/۹۲	۳۳/۳۲	٥۹/۳۰	–	–	–	–	–	–	–	–
VE		۰/۸٦	۰/۷٤	۲/٥۱	۰/۰٤	۰/۰۰۱	۰/٤۰	۰/۰٤	۰/۰۰۱	۰/۲۹	۰/٤۸	۱/۳٤	۰/۰۲	۰/۰۰۱	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۰۰۱
VG		۰/۱۷	۱/۳۲	۲/٥۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۱۹	۰/۰٥	۰/۰۰۱	۰/٤۹	۰/٥۸	۲/۰۰	۰/۰۰٤	۰/۰۰۰۳	۰/۳۰	۰/۰٤	۰/۰۰۱
VP		۱/۰۳	۲/۰٦	٥/۰۳	۰/۰٥	۰/۰۰۳	۰/٥۹	۰/۰۸	۰/۰۰۲	۰/۷۸	۱/۰۷	۳/۳٤	۰/۰۲	۰/۰۰۱	۰/٤۲	۰/۰٦	۰/۰۰۱
H		۰/۱۷	۰/٦٤	۰/٥۰	۰/۰۷	۰/٦۰	۰/۳۲	۰/٥٦	۰/٥۰	۰/٦۲	۰/٥٥	۰/٦۰	۰/۱۸	۰/۳۳	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۷٥
GA		۲/٦۰	۳۲/۲۲	۱۰/٦٤	۱/٥۲	۷/۷۳	۱۰/۳٤	۲۸/٦۰	٥/٥۰	۱۲/۱۸	۲۹/۹۳	۱۷/۰۹	۳/۲۷	۳/٤٦	۲٦/٤٤	٥٤/۰٤	۱۹/۳٦
ECV		۸/۰۲	۱۲/۳۰	۸/٥٥	۱۱/٦۲	٤/٦۳	۱٥/۱۷	۱۹/۱٥	٤/٤۲	٥/۸۱	۱۷/۸٤	۸/۷٥	۸/۱۸	٤/۱۲	۹/٦۰	۲۰/٤۹	٦/۲۷
GCV		۳/٦۰	۱٦/٤۷	۸/٥٥	۳/۲۲	٥/٦۷	۱۰/۳۹	۲۱/٦۸	٤/٤۲	۷/٤۹	۱۹/٦۳	۱۰/۷۱	۳/۷۸	۲/۹۱	۱٥/۱۸	۳۱/۳٤	۱۰/۸٥
PCV		۸/۷۹	۲۰/٥٦	۱۲/۰۹	۱۲/۰٦	۷/۳۲	۱۸/۳۹	۲۸/۹۳	٦/۲٥	۹/٤۸	۲٦/٥۲	۱۳/۸۳	۹/۰۱	٥/۰٤	۱۷/۹۷	۳۷/٤٥	۱۲/٥۳

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد.

Chl a، Chl b، Chl T، CAR، *Fv/Fm*، *Fv/Fo*، SFW و SDW به‌ترتیب بیانگر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، محتوای کاراتنوئید، حداکثر کارایی فیتوشیمیایی فتوسیستم II، ظرفیت فتوسنتزی، بیوماس تر گیاهچه و بیوماس خشک گیاهچه می‌باشند.

R، VE، VG، VP، H، GA، ECV، GCV و PCV به‌ترتیب بیانگر درصد تغییر ایجاد شده به‌واسطه تنش کم آبی در مقایسه با شرایط عدم تنش، واریانس محیطی، واریانس ژنوتیپی، واریانس فنوتیپی، درصد وراثت‌پذیری، درصد پیشرفت ژنتیکی، ضریب تغییرات محیطی، ضریب تغییرات ژنوتیپی و ضریب تغییرات فنوتیپی می‌باشند.

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

جدول ۳- میانگین صفات اندازه‌گیری شده ۴۹ توده *Ae. tauschii* به‌همراه رتبه آن‌ها در شرایط تنش کم آبی

کد	Chl a	R	Chl b	R	Chl T	R	CAR	R	*Fv/Fm*	R	*Fv/Fo*	R	SFW	R	SDW	R	ASV	SD
۱	۸/۲۷	۴۵	۳/۰۸	۴۰	۱۱/۳۵	۴۳	۱/۴۸	۴۶	۰/۶۴	۱۵	۳/۸۵	۱۶	۰/۷۲	۱۹	۰/۳۲	۱۱	۲۹/۳۸	۱۶/۳۹
۲	۸/۷۶	۳۶	۳/۹۰	۲۲	۱۲/۶۶	۳۰	۱/۵۲	۴۱	۰/۶۳	۲۴	۳/۶۴	۲۴	۰/۵۷	۲۸	۰/۲۸	۲۷	۲۹	۱۰/۷۸
۳	۸/۸۷	۳۳	۳/۱۱	۳۸	۱۱/۹۹	۳۷	۱/۷۲	۱۷	۰/۶۳	۲۸	۳/۵۵	۳۱	۱/۳۷	۱	۰/۳۴	۴	۲۳/۶۳	۱۴/۸۵
۴	۸/۳۵	۴۴	۳/۶۲	۳۱	۱۱/۹۷	۳۸	۱/۴۰	۴۸	۰/۶۲	۳۵	۳/۴۷	۳۵	۱/۱۷	۳	۰/۳۳	۹	۳۰/۳۸	۱۷/۰۷
۵	۸/۰۲	۴۷	۲/۴۸	۴۷	۱۰/۵۰	۴۷	۱/۶۹	۲۰	۰/۶۳	۳۳	۳/۴۸	۳۳	۰/۹۱	۹	۰/۳۰	۱۹	۳۱/۸۸	۱۶/۴۰
۶	۸/۴۸	۴۲	۳/۴۲	۳۴	۱۱/۹۰	۳۹	۱/۳۷	۵۰	۰/۶۲	۳۵	۳/۴۰	۳۷	۰/۶۷	۲۳	۰/۳۰	۱۷	۳۴/۶۳	۱۴/۲۵
۷	۱۰/۲۸	۶	۴/۲۹	۱۴	۱۴/۵۷	۱۲	۱/۷۵	۱۳	۰/۵۷	۴۶	۲/۵۵	۴۸	۰/۴۶	۴۰	۰/۳۰	۱۹	۲۴/۷۵	۱۶/۹۰
۸	۸/۷۸	۳۵	۳/۶۳	۳۰	۱۲/۴۰	۳۴	۱/۵۹	۳۶	۰/۶۳	۳۳	۳/۴۷	۳۴	۰/۷۶	۱۲	۰/۲۹	۲۲	۲۹/۵۰	۱۱/۸۴
۹	۱۰/۱۰	۱۰	۵/۲۰	۸	۱۵/۳۰	۸	۱/۸۱	۸	۰/۶۸	۱	۵/۴۶	۱	۰/۵۷	۳۰	۰/۲۷	۳۴	۱۲/۵۰	۱۱/۷۳
۱۰	۱۰/۸۴	۲	۴/۳۲	۱۳	۱۵/۱۷	۹	۲/۰۰	۲	۰/۶۲	۴۱	۳/۲۸	۴۱	۰/۴۸	۳۶	۰/۲۷	۳۴	۲۲/۲۵	۱۶/۸۴
۱۱	۹/۲۸	۲۸	۳/۳۹	۳۵	۱۲/۶۷	۲۹	۱/۸۳	۶	۰/۶۱	۴۲	۳/۱۵	۴۲	۰/۸۱	۱۱	۰/۳۳	۷	۲۵	۱۵/۴۲
۱۲	۱۰/۳۴	۵	۵/۷۱	۵	۱۶/۰۵	۵	۱/۶۳	۳۲	۰/۶۳	۲۴	۳/۵۷	۲۸	۰/۵۴	۳۱	۰/۲۷	۳۲	۲۰/۲۵	۱۳/۰۳
۱۳	۹/۵۱	۲۲	۴/۰۷	۱۶	۱۳/۵۸	۲۰	۱/۵۴	۴۰	۰/۶۴	۱۲	۳/۸۹	۱۳	۱/۲۱	۲	۰/۳۸	۲	۱۵/۸۸	۱۱/۸۷
۱۴	۸/۷۱	۳۸	۲/۷۱	۴۴	۱۱/۴۲	۴۲	۱/۷۴	۱۵	۰/۶۴	۱۵	۳/۸۶	۱۴	۰/۴۸	۳۷	۰/۲۶	۳۹	۳۰/۵۰	۱۵/۱۵
۱۵	۱۰/۰۸	۱۱	۵/۲۴	۷	۱۵/۳۲	۷	۱/۶۱	۳۵	۰/۶۴	۱۵	۳/۸۴	۱۷	۰/۷۲	۱۹	۰/۲۹	۲۲	۱۶/۶۳	۹/۶۵
۱۶	۹/۹۱	۱۶	۳/۲۶	۳۶	۱۳/۱۷	۲۵	۱/۹۶	۳	۰/۶۵	۷	۴/۰۱	۱۱	۰/۳۸	۴۷	۰/۲۳	۴۹	۲۴/۲۵	۱۷/۵۹
۱۷	۹/۰۶	۳۲	۳/۵۲	۳۳	۱۲/۵۸	۳۲	۱/۷۰	۱۹	۰/۶۵	۴	۴/۱۱	۷	۰/۴۷	۳۹	۰/۲۶	۳۹	۲۵/۶۳	۱۴/۶۶
۱۸	۱۰/۲۶	۷	۳/۸۲	۲۶	۱۴/۰۸	۱۶	۱/۹۴	۴	۰/۵۶	۴۷	۲/۵۷	۴۷	۰/۶۸	۲۲	۰/۲۸	۲۹	۲۴/۷۵	۱۶/۲۸
۱۹	۹/۹۸	۱۴	۴/۸۶	۱۰	۱۴/۸۴	۱۰	۱/۶۷	۲۷	۰/۶۰	۴۴	۳/۱۱	۴۳	۰/۹۲	۸	۰/۳۴	۶	۲۰/۲۵	۱۵/۲۵
۲۰	۱۱/۲۹	۱	۵/۸۵	۳	۱۷/۱۴	۱	۱/۷۲	۱۷	۰/۶۱	۴۲	۳/۰۸	۴۴	۰/۳۹	۴۶	۰/۲۴	۴۶	۲۵/۰۰	۲۰/۵۱
۲۱	۹/۹۹	۱۳	۴/۴۹	۱۲	۱۴/۴۸	۱۳	۱/۶۹	۲۰	۰/۶۴	۲۲	۳/۷۴	۲۰	۱/۰۶	۶	۰/۴۰	۱	۱۳/۳۸	۷/۶۸
۲۲	۷/۵۰	۴۹	۲/۱۶	۵۰	۹/۶۶	۴۹	۱/۶۴	۳۱	۰/۶۴	۱۵	۳/۶۹	۲۱	۰/۷۴	۱۶	۰/۳۲	۱۲	۳۰/۳۸	۱۷/۵۴
۲۳	۹/۱۱	۳۰	۳/۹۷	۱۹	۱۳/۰۸	۲۷	۱/۴۹	۴۵	۰/۶۲	۵۳	۳/۴۴	۳۶	۱/۰۸	۴	۰/۳۱	۱۵	۲۶/۳۸	۱۴/۲۶
۲۴	۸/۴۹	۴۱	۲/۸۲	۴۳	۱۱/۳۱	۴۴	۱/۷۷	۱۱	۰/۶۳	۲۸	۳/۵۴	۳۲	۰/۴۹	۳۴	۰/۲۷	۳۷	۳۳/۷۵	۱۴/۲۲
۲۵	۹/۹۷	۱۵	۳/۵۶	۳۲	۱۳/۵۳	۲۱	۱/۸۱	۹	۰/۶۳	۲۸	۳/۵۸	۲۷	۰/۷۳	۱۷	۰/۳۰	۱۹	۲۱/۰۰	۹/۴۲
۲۶	۹/۵۷	۲۱	۳/۸۴	۲۵	۱۳/۴۱	۲۳	۱/۸۶	۵	۰/۵۹	۴۵	۲/۹۸	۴۵	۰/۲۳	۵۰	۰/۲۳	۴۹	۳۲/۸۸	۱۷/۹۱
۲۷	۷/۸۴	۴۸	۲/۴۰	۴۸	۱۰/۲۴	۴۸	۲/۰۳	۱	۰/۶۴	۱۵	۳/۶۹	۲۳	۰/۹۵	۷	۰/۲۶	۳۸	۲۸/۵۰	۱۹/۳۹
۲۸	۱۰/۲۴	۸	۵/۰۹	۹	۱۵/۳۲	۶	۱/۷۶	۱۲	۰/۵۶	۴۸	۲/۷۱	۴۶	۰/۳۶	۴۹	۰/۲۴	۴۸	۲۸/۲۵	۲۰/۴۸
۲۹	۹/۲۷	۲۹	۳/۱۵	۳۷	۱۲/۴۲	۳۳	۱/۶۲	۳۳	۰/۶۲	۳۵	۳/۳۹	۳۸	۰/۴۴	۴۲	۰/۲۵	۴۲	۳۶/۱۳	۱۲/۰۴
۳۰	۱۰/۶۹	۳	۵/۷۳	۴	۱۶/۴۱	۳	۱/۶۲	۳۴	۰/۶۴	۲۲	۳/۶۹	۲۱	۰/۷۰	۲۱	۰/۲۸	۲۷	۱۶/۸۸	۱۱/۸۳
۳۱	۹/۷۲	۱۹	۳/۹۷	۲۰	۱۳/۶۹	۱۸	۱/۶۸	۲۳	۰/۵۳	۵۰	۱/۳۹	۵۰	۰/۷۲	۱۸	۰/۲۸	۲۹	۲۸/۳۸	۱۵/۱۱
۳۲	۹/۴۹	۲۳	۵/۳۵	۶	۱۴/۸۴	۱۰	۱/۴۰	۴۹	۰/۶۵	۴	۴/۱۷	۴	۰/۷۶	۱۴	۰/۳۱	۱۵	۱۵/۶۳	۱۴/۰۷
۳۳	۸/۳۸	۴۳	۲/۶۲	۴۶	۱۱/۰۰	۴۵	۱/۶۶	۲۸	۰/۶۸	۱	۵/۲۸	۲	۰/۳۷	۴۸	۰/۲۵	۴۴	۳۲/۱۳	۲۰/۲۲
۳۴	۹/۷۹	۱۷	۴/۰۲	۱۸	۱۳/۸۱	۱۷	۱/۷۴	۱۴	۰/۶۲	۳۹	۳/۳۶	۳۹	۰/۴۳	۴۴	۰/۲۴	۴۶	۲۹/۲۵	۱۵/۳۰
۳۵	۷/۳۷	۵۰	۲/۲۶	۴۹	۹/۶۳	۵۰	۱/۵۲	۴۱	۰/۶۵	۷	۴/۱۰	۸	۱/۰۸	۵	۰/۳۲	۱۳	۲۷/۸۸	۲۰/۷۲
۳۶	۹/۳۸	۲۵	۴/۰۵	۱۷	۱۳/۴۳	۲۲	۱/۵۶	۳۸	۰/۶۴	۱۲	۳/۹۲	۱۲	۰/۴۹	۳۴	۰/۲۵	۴۴	۲۵/۵۰	۱۳/۳۲
۳۷	۹/۷۴	۱۸	۴/۵۹	۱۱	۱۴/۳۳	۱۴	۱/۵۷	۳۷	۰/۶۲	۳۹	۳/۳۵	۴۰	۰/۴۶	۴۱	۰/۲۵	۴۲	۳۰/۲۵	۱۵/۱۶
۳۸	۱۰/۳۷	۴	۶/۰۸	۲	۱۶/۴۵	۲	۱/۵۰	۴۴	۰/۶۴	۱۵	۳/۸۱	۱۸	۰/۷۶	۱۲	۰/۳۳	۹	۱۳/۲۵	۱۲/۸۵
۳۹	۹/۳۷	۲۶	۳/۷۹	۲۷	۱۳/۱۵	۲۶	۱/۶۸	۲۴	۰/۶۳	۲۴	۳/۵۷	۲۸	۰/۴۸	۳۷	۰/۲۹	۲۶	۲۷/۲۵	۹/۳۲
۴۰	۹/۴۹	۲۴	۳/۱۰	۳۹	۱۲/۵۸	۳۱	۱/۷۴	۱۵	۰/۶۵	۴	۴/۱۶	۵	۰/۷۶	۱۴	۰/۳۲	۱۳	۱۸/۱۳	۱۲/۲۶

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

٤١	١٠/٠١	١٢	٤/٢٢	١٥	١٤/٢٣	١٥	١/٨٢	٧	٠/٦٥	٧	٤/٠٩	٩	٠/٨٨	١٠	٠/٣٣	٧	١٠/٢٥	٤/٤١
٤٢	٨/٥٦	٣٩	٣/٧٧	٢٨	١٢/٣٣	٣٥	١/٥٢	٤٣	٠/٦٥	٧	٤/٠٤	١٠	٠/٥٠	٣٣	٠/٣٠	١٧	٢٦/٥٠	١٤/٥٨
٤٣	٨/٢١	٤٦	٢/٦٩	٤٥	١٠/٩٠	٤٦	١/٦٨	٢٥	٠/٦٤	١٥	٣/٧٧	١٩	٠/٥٤	٣٢	٠/٢٦	٣٩	٣٣/٣٨	١٥/٢٥
٤٤	٩/١٠	٣١	٣/٨٥	٢٤	١٢/٩٤	٢٨	١/٦٦	٢٨	٠/٦٣	٢٤	٣/٦٣	٢٥	٠/٥٧	٢٩	٠/٢٧	٣٢	٢٧/٦٣	٠/٠٩
٤٥	٨/٧٩	٣٤	٢/٩٦	٤١	١١/٧٦	٤٠	١/٦٩	٢٢	٠/٦٥	٧	٤/١٢	٦	٠/٦٣	٢٧	٠/٣٤	٤	٢٢/٦٣	١٥/٣١
٤٦	٨/٧٣	٣٧	٢/٩٢	٤٢	١١/٦٥	٤١	١/٦٦	٣٠	٠/٦٦	٣	٤/٣٦	٣	٠/٦٥	٢٦	٠/٢٨	٣١	٢٦/٦٣	١٦/٠٨
٤٧	٨/٥٠	٤٠	٣/٧٢	٢٩	١٢/٢٢	٣٦	١/٥٦	٣٨	٠/٦٣	٢٨	٣/٥٦	٣٠	٠/٤٢	٤٥	٠/٣٤	٣	٣١/١٣	١٤/٩٤
٤٨	٩/٦٨	٢٠	٣/٩٤	٢١	١٣/٦٢	١٩	١/٨٠	١٠	٠/٦٤	١٢	٣/٨٥	١٥	٠/٦٦	٢٥	٠/٢٩	٢٢	١٨/٠٠	٧/٢٧
٤٩	١٠/١٥	٩	٦/٢٢	١	١٦/٣٧	٤	١/٤٨	٤٦	٠/٥٤	٤٩	٢/٤٤	٤٩	٠/٤٤	٤٢	٠/٢٧	٣٤	٢٩/٢٥	٢٠/٦٩

Chl a، Chl b، Chl T، CAR، *Fv/Fm*، *Fv/Fo*، SFW، SDW، ASV و SD به ترتیب بیانگر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، محتوای کاراتنوئید، حداکثر کارایی فیتوشیمیایی فتوسیستم II، ظرفیت فتوسنتزی، بیوماس تر گیاهچه و بیوماس خشک گیاهچه، میانگین رتبه‌ها و انحراف معیار مجموع رتبه‌ها می‌باشند.

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

در شرایط تنش کم آبی کلیه صفات دارای وراثت‌پذیری بالایی بودند (۳۰ درصد <) و بیش‌ترین مقدار آن به‌ترتیب مربوط به صفات بیوماس خشک اندام‌های هوایی (۷۵ درصد)، *Fv/Fm* (۷۱ درصد) و بیوماس تر اندام‌های هوایی (۷۰ درصد) بود. علاوه براین، بیوماس تر اندام‌های هوایی (۵٤/۰٤ درصد)، میزان کلروفیل b (۲۹/۹۳ درصد) و *Fv/Fo* (۲٦/٤٤ درصد) دارای بیش‌ترین درصد پیشرفت ژنتیکی بودند. بیش‌ترین ضرایب ECV، PCV و GCV نیز مربوط به صفات میزان کلروفیل b و بیوماس تر اندام‌های هوایی بود. ضرایب همبستگی بین صفات نشان داد در شرایط عدم تنش بین رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌جز میزان کاراتنوئید همبستگی بسیار بالایی وجود دارد، با این حال رابطه مثبت و معنی‌داری بین دیگر صفات مشاهده نشد (شکل ۱-الف). در مقابل نتایج همبستگی بین صفات در شرایط تنش کم آبی متفاوت بود و علاوه بر رنگدانه‌های فتوسنتزی، بین شاخص *Fv/Fm* و *Fv/Fo* همبستگی مثبت و شدیدی مشاهده شد. بیوماس تر و خشک و اندام‌های هوایی نیز به‌طور معنی‌داری با یکدیگر مرتبط بودند. اگرچه رابطه بین صفات *Fv/Fm* و *Fv/Fo* با بیوماس‌های اندام‌های هوایی رابطه معنی‌داری وجود نداشت با این‌حال برخلاف شرایط عدم تنش رابطه بین آن‌ها ضعیف ولی مثبت بود (شکل ۱-ب).

بحث

با گذشت چندین دهه از فعالیت‌های صورت گرفته در رابطه با اصلاح برای مقاومت به تنش‌های محیطی، تنش کم آبی هنوز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مهم و تأثیرگذار در کاهش عملکرد گیاهان زراعی به‌ویژه گندم شناخته می‌شود. بنابراین به‌نظر می‌رسد که ایجاد تحمل و یا مقاومت در ارقام کنونی نیازمند استفاده از یک خزانه ژنی ثانویه و بهره‌مندی از ژن‌های موجود در آن‌ها می‌باشد. خویشاوندان وحشی گندم به‌ویژه گونه‌های وحشی جنس آژیلوپس به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین منابع ژنی برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی گندم شناخته شده‌اند. به طوری‌که در بسیاری از مطالعات انجام شده بر روی این گونه‌ها پتانسیل قابل توجهی از آن‌ها در برابر شرایط نامساعد رشدی گزارش شده‌است (Arabbeigi et al. 2014; Hairat and Khurana 2015; Pour-Aboughadareh et al. 2017a; Ahmadi et al. 2018a,b). تاکنون گزارشات متعددی در رابطه با اثر تنش کم آبی بر صفات مختلف رشدی در گندم و خویشاوندان وحشی در دسترس است، با این‌حال اطلاع از پاسخ‌های فیزیولوژیکی مرتبط با فرآیند فتوسنتزی محدود است. از این‌رو در تحقیق حاضر پاسخ به تنش کم آبی ٤۹ توده گندم وحشی *Ae. tauschii* در مرحله گیاهچه و تحت شرایط گلخانه‌ای از نظر رنگدانه‌های فتوسنتزی و شاخص‌های مرتبط با کارایی فتوسیستم II مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که تنش کم آبی اثر سوئی بر صفات اندازه‌گیری شده داشت. کاهش بیوماس اندام‌های هوایی یکی از بارزترین شاخص‌های رشدی گیاه در بروز علائم تنش خشکی می‌باشد (Rahbarian et al. 2011). در مطالعه‌ای که توسط Pour-Aboughadareh et al. (2017a) بر روی گونه‌های ژرم‌پلاسمی گندم ایران صورت گرفت، مشاهده شد که تنش خشکی تأثیر قابل توجهی بر بیوماس اندام‌های هوایی گیاه در توده‌های *Ae. tauschii* داشته است به‌طوری‌که روند کاهشی این صفات در مقایسه با شرایط عدم تنش خشکی بیش از ۵۰ درصد بود. در این بررسی نیز تنش کم آبی منجر به کاهش بیوماس تر (۳۳/۳۲ درصد) و خشک (۵۹/۳۰ درصد) اندام‌های هوایی شد که با نتایج دیگر محققان (Pour-Aboughadareh et al. 2017a; Ahmadi et al. 2018a,b) مطابقت نشان داد (جدول ۲).

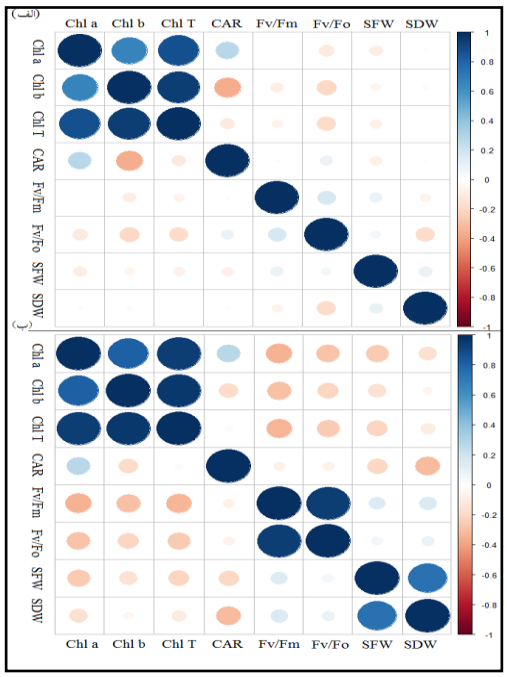
گزارش شده‌است که تنش خشکی منجر به کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود (Burce 1991). در واقع تجزیه کلروفیل بر اثر فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کاهش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش کم آبی هستند (Sirousmehr et al. 2014). هم‌چنین کاهش میزان کلرووفیل در ژنوتیپ‌های حساس می‌تواند در نتیجه تخریب ساختار کلروپلاست و تغییر نسبت چربی-پروتئین رخ دهد (Mohammadi et al. 2015). Sirousmehr et al. (2014) اظهار داشتند در سطوح تنش شدید کاهش کلروفیل b نسبت به کلروفیل a بیش‌تر است. بر این اساس، کاهش بیشتر میزان کلروفیل b موجب به کاهش جذب نور و محافظت زنجیره

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

فتوسنتزی گیاه خواهد شد. در مطالعه Ahmadi et al. (2018a) نیز تنش خشکی منجر به کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ شد و کلروفیل b نسبت به کلروفیل a و کاراتنوئید بیش‌تر متأثر از شرایط تنش بود. در بررسی حاضر بیش‌ترین تأثیر تنش خشکی بر میزان کلروفیل b گذاشت که این نتیجه با نتایج این محققان مطابقت داشت. در سال‌های اخیر استفاده از فلورسانس کلروفیل به‌عنوان یک معیار سنجش برای اندازه‌گیری تأثیر تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی برای اکثر گونه‌های گیاهی و تعیین میزان مقاومت آن‌ها به شرایط تنش پیشنهاد شده‌است. خشکی با تأثیر سویی که بر ورود دی‌اکسید کربن می‌گذارد چرخه انتقال الکترون را مختل کرده و سیستم فتوشیمیایی PSII به‌سرعت به فلورسانس حداکثر می‌رسد که پیامد آن کاهش فلورسانس متغیر است (Meerajipour et al. 2013). همچنین Ahmad et al. (2013) عنوان کردند که کاهش میزان این شاخص‌ها در شرایط تنش خشکی ممکن است به‌واسطه کمبود انرژی جابجا شده از گیرنده‌نوری کلروفیل به مرکز PSII باشد. در این مطالعه نیز تنش کم آبی منجر به کاهش شاخص‌های *Fv/Fm* و *Fv/Fo* شد (به‌ترتیب ۲۰/۵۲ و ۱۳/۹۲ درصد) که با نتایج سایر مطالعات مطابقت نشان داد (Dulai et al. 2006; Ahmad et al. 2013; Taghipour et al. 2014; Pour-Aboughadareh et al. 2017a).

بررسی مقادیر وراثت‌پذیری و ضرایب تنوع نشان داد تنش کم آبی منجر به تغییر پارامترهای ژنتیکی شده‌است (جدول ۲). با مقایسه نتایج به‌دست آمده در هر یک از شرایط محیطی مشاهده شد که تنش منجر به افزایش میزان وارثت‌پذیری و پشرفت ژنتیکی در کلیه صفات مورد بررسی شده‌است. از این‌رو این نتیجه می‌تواند بیانگر زیادتر بودن تنوع ژنتیکی نسبت به تنوع محیطی و همچنین ادغام اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در جمعیت مورد نظر باشد (Kamalizadeh et al. 2013). با این وجود لازم به ذکر است اگرچه میزان وراثت‌پذیری عمومی به خوبی نمی‌تواند سهم ژنتیکی تنوع را مشخص نماید اما بالا بودن میزان آن می‌تواند منجر به افزایش پیشرفت ژنتیکی برای صفت مورد نظر باشد. همچنین باید توجه داشت که مقدار وراثت‌پذیری به نوع صفت، جمعیت مورد مطالعه و شرایط محیطی در برگیرنده افراد مورد ارزیابی و نحوه اندازه‌گیری صفت مورد نظر بستگی دارد (Kearsey and Pooni 1998). در این بررسی نیز صفات مشخص شد که دامنه وراثت‌پذیری بین ۷۵–۱۸ درصد متغییر بوده و کلیه صفات به‌جز میزان کاراتنوئید از مقدار بالایی برخوردار بودند. از اینرو تمرکز بر روی این صفات در به‌کارگیری آن‌ها در جهت اصلاح فیزیولوژیکی گندم قابل تأمل می‌باشد.

گزارش شده‌است که شاخص‌های فتوسنتزی همبستگی مثبت و معنی‌داری با بیوماس گیاهچه دارند (Pour-Aboughadareh 2017a). نتایج حاصل از تجزیه همبستگی بین صفات نشان داد که در شرایط عدم تنش و تنش کم آبی رابطه بین صفات تا حدودی متفاوت بود و تنها در شرایط تنش کم آبی بین دو شاخص *Fv/Fm* و *Fv/Fo* همبستگی مثبت و قابل توجهی وجود داشت. علاوه بر این در هیچ یک از شرایط رشدی رابطه معنی‌داری بین بیوماس گیاهچه و سایر صفات فتوسنتزی مشاهده نشد و تنها در شرایط تنش کم آبی همبستگی مثبت و غیر معنی‌داری بین شاخص‌های *Fv/Fm* و *Fv/Fo* با بیوماس‌های تر و خشک مشاهده شد (شکل ۱).



شکل ۱- نمایش گرافیکی ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات اندازه‌گیری شده در ٤٩ توده *Ae. tauschii* در (الف) شرایط عدم تنش و (ب) تنش کم آبی

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

به‌طورکلی اگر چه این نتیجه با نتایج Pour-Aboughadareh et al. (2017a, 2019) متفاوت بود با این‌حال وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین دو شاخص *Fv/Fm* و *Fv/Fo* بیانگر این است که این دو صفت بیوشمیایی می‌توانند به‌عنوان ابزاری جهت غربال توده‌های متحمل به تنش و برخوردار از توان فتوسنتزی بالا در شرایط تنش کم آبی استفاده شوند.

یکی از گام‌های اولیه در اکثر برنامه‌های اصلاح نبات ارزیابی تنوع ژنتیکی موجود در مجموعه مواد ژنتیکی مورد استفاده است. در واقع تنوع ژنتیکی اطلاعات پایه‌ای در هر یک از سطوح مولکولی و زراعی را برای به‌نژادگران فراهم می‌کند. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نیز نشان داد که از نظر صفات فتوسنتزی تنوع ژنتیکی قابل توجهی بین توده‌های مختلف *Ae. tauschii* وجود دارد. علاوه براین، میزان بالای وراثت‌پذیری صفات در شرایط تنش کم آبی نیز بیانگر این سطح از تنوع ژنتیکی بود که زمینه را جهت بررسی دقیق‌تر این مواد ژنتیکی و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی برای بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی گندم فراهم آورد. با بررسی میانگین کلیه صفات اندازه‌گیری شده مشخص شد که برخی از توده‌های ارزیابی شده (شماره‌های ۹، ۱۳، ۱۵، ۲۱، ۳۰، ۳۸، ٤١ و ٤٨) در شرایط تنش کم آبی نسبت به سایر توده از نمود بهتری برخوردار بودند. بنابراین بررسی دقیق‌تری این توده‌ها در سطوح مختلف تنش و انجام سایر ارزیابی‌ها هم در سطح فیزیولوژیکی و هم در سطح مولکولی توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) با شماره گرنت ۹۷۰۰۷۵۰۳ انجام شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Ahmad I, Dai H, Zheng W, Cao F, Zhang G, Sun D, Wu F (2013) Genotypic differences in physiological characteristics in the tolerance to drought and salinity combined stress between Tibetan wild and cultivated barley. Plant Physiology and Biochemistry 63:49–60.

Ahmadi J, Pour-Aboughadareh A, Fabtiki Ourang S, Mehrabi AA, Siddique KHM (2018a) Wild relatives of wheat: *Aegilops–Triticum* accessions disclose differential antioxidative and physiological responses to water stress. Acta Physiologiae Plantarum 40:90.

Ahmadi J. Pour-Aboughadarh A, Fabriki-Ourang S, Mehrabi AA, Siddique KHM (2018b) Screening wheat germplasm for seedling root architectural traits under contrasting water regimes: potential sources of variability for drought adaptation. Archives of Agronomy and Soil Science 64:1351–1365.

Arabbeigi M, Arzani A, Majidi MM, Kiani R, Tabatabaei BES, Habibi F (2014) Salinity tolerance of *Aegilops cylindrica* genotypes collected from hyper-saline shores of Uremia Salt Lake using physiological traits and SSR markers. Acta Physiologiae Plantarum 36:2243–2251.

Behra RK, Mishra PC, Choudhury NK (2002) High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. Plant Physiology 159:967–973.

Bhardway R, Singhal G (1981) Effect of water stress on photochemical activity of chloroplasts during greening etiolated barley seedlings. Plant Cell Physiology 22:155–162.

Biglouie MH, Assimi MH, Akbarzadeh A (2010) Effect of water stress at different stages on quantity and quality traits of virginia (flue cured) tobacco type. Plant Soil Environment 2:67–75.

Blum A, Shipiler L, Golan G, Mayer J (1989) Yield stability and canopy temperature of wheat genotypes under drought stress. Field Crops Research 22:289–296.

Burce JA (1991) Comparative responses of leaf conductance to humidity in single attached leaves. Journal of Experimental Botany 32:629–634.

Chhuneja P, Garg T, Kumar R, Kaur S, Sharma A, Bains AS, Ahuja M, Dhaliwal HS, Sing K (2010) Evaluation of *Aegilops tauschii* Coss. germplasm for agromorphological traits and genetic diversity using SSR loci. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 70:328–338.

Dulai S, Molnar I, Pronay J, Csernak A, Tarnai R, Molnar-Lang M (2006) Effects of drought on photosynthetic parameters and heat stability of PSII in wheat and in Aegilops species originating from dry habitats. Acta Biologica Szegediensis 50:11–17.

Hairat S, Khurana P (2015) Evaluation of Aegilops tauschii and Aegilops speltoides for acquired thermotolerance: implications in wheat breeding programmes. Plant Physiology and Biochemistry 95:65–74.

Hajjar R, Hodgkin T (2007) The use of wild relatives in crop improvement: a survey of developments over the last 20 years. Euphytica 156:1–13.

Jafaraghaei M, Mozafari J, Taleei AR, Naghavi MR, Omidi M (2008) Distribution and diversity of *Aegilops tauschii* in Iran. Genetic Resources and Crop Evolution 55:341.

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

Kamalizadeh M, Hoseinzadeh A, Zeinalikhanghah H (2013) Evaluation of inheritance for some quantitative traits in bread wheat using generation mean analysis under water deficit condition. Iranian Journal of Field Crop Science 44:317–326.

Kearsey MJ, Pooni, HS (1998) Genetic analysis of Quantitative Traits. Stanley thornes (Publishers) Ltd., United Kingdom, 381p.

Ketata HY, Yau SK, Nachit M (1989) Relative consistency performance across environments. International Symposium on Physiology and Breeding of Winter Cereals for stressed Mediterranean Environments, Montpellier, July 3–6, pp 391-400.

Kilian B, Ozkan H, Deusch O et al. (2007) Independent wheat B and G genome origins in outcrossing Aegilops progenitor haplotypes. Molecular Biology and Evolution 24:217–227.

Lichtenthaler HK, Wellburn AR (1983) Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11:591–592.

Masoomi-Aladizgeh F, Aalami A, Esfahani M, Aghaei MJ, Mozaffari K (2015) Identification of CBF14 and NAC2 genes in *Aegilops tauschii* associated with resistance to freezing stress. Applied Biochemistry and Biotechnology 176:1059–1070.

Meerajipour M, Mahdavi-Dehnavi M, Dehdari A, Farajee H, MeerJIPOUR m (2013) Effect of drought stress on some physiological characteristics of four spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Yasouj. Environmental Stresses in Crop Sciences 5:125–134.

Moffatt J, Sears MRG, Paulsen G (1990) Wheat height temperature tolerance during reproductive growth. I: Evaluation by chlorophyll fluorescence. Crop Science 30:881–885.

Mohammadi A, Ebrahimzadeh H, Hadian J, Mir-Maasoomi M (2015) Study of the effect of drought stress on some biochemical and physiological parameters of *Lippia citriodora* H.B.K. Iranian Journal of Plant Research 28:617–628.

Naghavi MR, Hajikaram M, Taleei AR, Jafaraghaei (2010) Microsatellite analysis of genetic diversity and population genetic structure of *Aegilops tauschii* Coss. in Northern Iran. Genetic Resources and Crop Evolution 57:423–430.

Pour-Aboughadareh A, Ahmadi J, Mehrabi AA, Etminan A, Moghaddam M, Siddique KHM (2017a) Physiological responses to drought stress in wild relatives of wheat: implications for wheat improvement. Acta Physiologiae Plantarum 39:106.

Pour-Aboughadareh A, Ahmadi J, Mehrabi AA, Moghaddam M, Etminan A (2017b) Evaluation of agro-morphological diversity in wild relatives of wheat collected in Iran. Journal of Agricultural Science and Technology 19:943–956.

Pour-Aboughadareh A, Omidi M, Etminan A, Mehrabi AA (2018) The importance of wild wheat germplasm in breeding for resistance to abiotic stresses. Modern Genetics Journal 51:489–504 (In Persian).

Pour-Aboughadareh A, Omidi M, Naghavi MR, Etminan A, Mehrabi AA, Pocazi P, Bayat H (2019) Effect of Water deficit stress on seedling biomass and physio-chemical characteristics in different species of wheat possessing the D genome. Agronomy 9:522.

Rahbarian R, Khavari-Nejad R, Ganjeali A, Bagheri A, Najafi F (2011) Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Acta Biologoca Cracoviensia Series Botanica 53:47–56.

Ramzi B, Morales F (1994) Chlorophyll flourescens as a possible tool for salinity tolerance screening in barley. Plant Physiology 104:667–673.

Roff DA, Emerson K (2006) Epistasis and dominance: Evidence for differential effects in life history versus morphological traits. Evolution 60:1981–1990.

Sirousmehr A, Baedel J, Mohammadi S (2014) Changes of germination properties, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes activity of safflowere as affected by drought and salinity stresses. Journal of Crop Ecophysiology 32:517–534 (In Persian).

Souza CC, Oliveira FA, Silva IF, Amorim Neto MS (2000) Evaluation of methods of available water determination and irrigation management in ‘‘terra roxa’’ under cotton crop. Revista Brasileria de Engenharia Agricola e Ambiental 4:338–342.

Taghipour Z, Asghari Zakaria R, Zare N, Zadeh S (2014) Evaluation of drought stress tolerance in several populations of Aegilops triuncialis. Iran Journal of Rangel Forests Plant Breeding and Genetic Research 22:55–66 (In Persian).

Tahernezhad Z, Zamani MJ, Solouki M, Zahravi M, Imamjomeh AA, Jafaraghaei M, Bihamta MR (2009) Genetic diversity of Iranian *Aegilops tauschii* Coss. using microsatellite molecular markers and morphological traits. Molecular Biology Reports 37: 3413–3420.

Zamani Bangohari M, Niazi A, Moghaddam AA, Deihimi T, Ebrahimie E (2013) Genome-wide analysis of key salinity-tolerance transporter (*HKT;5*) in wheat and wild wheat relatives (A and D genomes). In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant 49:97–106.

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]

[Downloaded from mg.genetics.ir on 2026-01-30]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1398.14.3.1.9]