



Screening and Evaluation of Wild Accessions of *Aegilops tauschii* using Morphophysiological Traits under Salinity Stress

Tayebeh Shamsini-Ghiyasvand¹ □ Sedigheh Fabriki-Ourang^{2✉} □ Jafar Ahmadi³ □
Ali Ashraf Mehrabi⁴

1. Department of Genetics and Plant Breeding, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Genetics and Plant Breeding, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: ourang@eng.ikiu.ac.ir
3. Department of Genetics and Plant Breeding, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: j.ahmadi@eng.ikiu.ac.ir
4. Research Center of Medicinal Plants, Shahed University, Tehran, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: February 4, 2024
Received in revised form:
February 28, 2024
Accepted: April 28, 2024
Published online: September
22, 2024

Keywords:
Biomass,
Hoagland's solution,
potassium,
salt stress,
sodium.

ABSTRACT

Salinity stress is one of the most important environmental stresses that affect plant growth. The most effective solution for managing salinity is to identify and select salinity-tolerant cultivars and use them in areas with saline soils. The aim of this study was to investigate the effect of salinity stress on changes in morpho-physiological traits of 109 accessions of *Aegilops tauschii* collected from different regions of the world, along with two check cultivars, Arg (salinity tolerant) and Darya (salinity sensitive). For this purpose, a factorial experiment with two levels of salinity (zero and 300 mM NaCl) as the first factor, and 111 genotypes (109 accessions and two check cultivars) as the second factor was conducted using a randomized complete block design with three replications. After salt stress treatment, some morpho-physiological traits were measured and the results were analyzed. Analysis of variance results showed that the studied accessions differed significantly from each other ($p \leq 0.01$) in terms of all traits (shoot and root sodium, shoot and root potassium, shoot potassium to sodium ratio, leaf chlorophyll content, shoot fresh and dry biomass, and root fresh and dry biomass), except for the root potassium to sodium ratio. The effect of salinity stress on the aforementioned traits also was significant ($p \leq 0.01$), except for root potassium. In total, some accessions collected from Iran, Georgia, Kosovo, Azerbaijan, and Turkmenistan showed acceptable performance in terms of the studied traits under salt stress conditions, when compared to the resistant check cultivar Arg. In addition, the dendrogram obtained from the cluster analysis and the survey of subgroup averages showed that the accessions collected from Iran, Georgia, Kosovo, Azerbaijan, and Turkmenistan had greater resistance and tolerance to salinity stress.

Cite this article: Shamsini-Ghiyasvand, T., Fabriki-Ourang, S., Ahmadi, J., & Ashraf Mehrabi, A. (2024). Screening and evaluation of wild accessions of *Ae. tauschii* using morphophysiological traits on salinity stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(3), 211-227. DOI: [10.22059/ijfcs.2024.372153.655063](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2024.372153.655063).





انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage: <https://ijfcs.ut.ac.ir/>

غربالگری و ارزیابی توده‌های وحشی آزیلویس تاؤوشی با استفاده از صفات مورفوفیزیولوژیکی تحت تنش شوری

طیبه شمسنینی غیاثوند^۱ □ صدیقه فابریکی اورنگ^{۲*} □ جعفر احمدی^۳ □ علی اشرف مهرابی^۴

۱. گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۲. نویسنده مسئول، گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: ourang@eng.ikiu.ac.ir

۳. گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: j.ahmadi@eng.ikiu.ac.ir

۴. مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱</p>	<p>تنش شوری یکی از مهمترین تنش‌های محیطی به‌شمار می‌آید که رشد گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. موثرترین راهکار برای مدیریت شوری، شناسایی و انتخاب ارقام متحمل به شوری و استفاده از آن‌ها در مناطق با خاک شور است. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر تنش شوری بر تغییرات صفات مورفو-فیزیولوژیکی ۱۰۹ توده از گونه <i>Aegilops tauschii</i> جمع‌آوری شده از مناطق مختلف جهان به همراه دو رقم شاهد گندم نان ارگ (متحمل به شوری) و دریا (حساس به شوری) بود. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو سطح شوری (صفر و ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl) به عنوان فاکتور اول و ۱۱۱ ژنوتیپ (۱۰۹ توده و دو رقم شاهد) به عنوان فاکتور دوم با سه تکرار در گلخانه دانشگاه بین‌المللی امام‌خمینی اجرا شد. پس از اعمال تنش شوری، اقدام به اندازه‌گیری صفات مورفو-فیزیولوژیکی شد و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که توده‌های مورد بررسی از نظر کلیه صفات (سدیم اندام هوایی و ریشه، پتاسیم اندام هوایی و ریشه، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی، محتوای نسبی کلروفیل برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه) بجز صفت نسبت پتاسیم به سدیم ریشه با یکدیگر در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار داشتند. تاثیر تنش شوری نیز بر صفات یادشده بجز پتاسیم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. در مجموع، صفات برخی توده‌های جمع‌آوری شده از کشورهای ایران، گرجستان، کوزوو، آذربایجان و ترکمنستان از نظر صفات مورد مطالعه عملکرد قابل قبولی را در شرایط تنش شوری حتی نسبت به رقم شاهد و مقاوم ارگ نشان دادند. همچنین نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای و بررسی میانگین زیرگروه‌ها نشان داد که توده‌های جمع‌آوری شده از کشورهای ایران، گرجستان، کوزوو، آذربایجان و ترکمنستان دارای مقاومت و تحمل بیشتری نسبت به تنش شوری بودند.</p>
<p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>پتاسیم، تنش شوری، زیست‌توده، سدیم، محلول هو گلند.</p>	

استناد: شمسنینی غیاثوند، ط، فابریکی اورنگ، ص، احمدی، ج، و اشرف مهرابی، ع. (۱۴۰۳). غربالگری و ارزیابی توده‌های وحشی آزیلویس تاؤوشی با استفاده از صفات مورفوفیزیولوژیکی تحت تنش شوری. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۳)، ۲۱۱-۲۲۷.

DOI: 10.22059/ijfcs.2024.372153.655063



© نویسنندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

تغییرات آب و هوایی جهانی و به دنبال آن خشکسالی و افزایش سطح شوری خاک، تهدیدی جدی برای عرضه جهانی غذا به شمار می‌رود. بیشتر گونه‌های گیاهی تحت تأثیر سطوح بالای شوری خاک قرار می‌گیرند که موجب بروز دو نوع تنش اسمزی و یونی شده و بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد. تنش اسمزی ناشی از غلظت بالای یون‌ها در خارج از ریشه است که پتانسیل آب خاک را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، تنش یونی توسط یون‌های سدیم و کلر اضافی ایجاد می‌شود که وارد گیاه شده و منجر به عدم تعادل یونی شدید می‌شود و موجب مهار جذب پتاسیم که یک عنصر ضروری برای رشد و نمو است، می‌شود. تنش‌های یونی و اسمزی ناشی از تنش شوری می‌توانند منجر به کاهش عملکرد و احتمالاً مرگ گیاه شوند (Mansouri et al., 2019). خاک‌های کشاورزی دارای انواع مختلفی از یون‌های نمک هستند، اما معمولاً کلرید سدیم، نمک غالب و مضر است که افزایش آن باعث کاهش رشد رویشی و سرعت فتوسنتز می‌شود (Hosseini et al., 2021). یون سدیم که به وفور در خاک‌های شور یافت می‌شود، اثرات نامطلوب بیشتری بر رشد گیاه دارد (Iqra et al., 2020). گیاهان از طریق مکانیسم‌های مختلفی از قبیل توزیع یکنواخت یون‌های سمی در واکنش‌های سلولی، تجمع اسمز پایدار در سیتوپلاسم، کاهش جذب سدیم و کلر توسط ریشه و عدم انتقال کلر و سدیم به ساقه در برابر تنش شوری مقاومت نشان می‌دهند (Hosseini et al., 2021). بسیاری از گونه‌های گیاهی دارای چندین مکانیسم مهم هستند که آن‌ها را قادر می‌سازد که در شرایط شور به رشد خود ادامه دهند. در شرایط شوری، گیاهان هدایت روزه‌ای را تنظیم می‌کنند تا از دست دادن آب از طریق تعرق کاهش یابد. علاوه بر این بسته شدن نسبی روزه ممکن است سرعت فتوسنتز را محدود کند که منجر به افزایش سطح ROS و حفظ یا کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. در واقع شوری مشکل کمبود انرژی را ایجاد می‌کند که در آن ظرفیت فتوسنتزی گیاهان دیگر قادر به تامین کربوهیدرات مورد نیاز برگ‌های جوان نیست که در نهایت موجب کاهش بیشتر رشد آن‌ها می‌شود (Pour-Aboughadareh et al., 2021).

پروژه‌های اصلاحی، تنوع ژنتیکی موجود در گیاهان زراعی را کاهش داده و در نتیجه تحمل آن‌ها را در برابر تنش‌های محیطی به حداقل رسانده است. به‌طور معمول خویشاوندان وحشی گیاهان زراعی در مقایسه با گونه‌های اهلی دارای تحمل بیشتری نسبت به تنش‌ها هستند (Mansouri et al., 2019)؛ مانند سایر گیاهان زراعی، ژرم پلاسما گندم نیز با تأثیرات فزاینده‌ای از تنش‌های غیر زیستی مانند شوری، خشکی و دمای بالا مواجه هستند که به شدت بر رشد گیاه، زیست‌توده و عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد (Klay et al., 2019). تنش شوری به‌طور قابل توجهی بر رشد گیاهچه گندم تأثیر می‌گذارد. چندین صفت از جمله زیست‌توده ریشه و اندام هوایی، ارتفاع بوته، تعداد پنجه بارور، تعداد سنبله و وزن دانه به‌عنوان پارامترهای رشد در نظر گرفته می‌شوند. گندم در مرحله گیاهچه به تنش شوری حساس‌تر است؛ بنابراین شوری زیاد ممکن است موجب مرگ گیاهچه شود. در ایران نزدیک به سه دهه برای بهبود تحمل به شوری در گندم تلاش شده است و تاکنون ارقام تجاری متعددی مانند نارین، بهم، ارگ، سیستان و برزگر برای استفاده در مناطق شور به کشاورزان معرفی شده‌اند (Pour-Aboughadareh et al., 2021). گندم از طیف وسیعی از مکانیسم‌های بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مولکولی در سطوح سلول، بافت و همچنین گیاه جهت سازگاری تحت تنش شوری استفاده می‌کند. یافته‌های اخیر نشان می‌دهد که تغییر در ویژگی‌های آناتومیکی برگ و ساقه در ژنوتیپ‌های مختلف گندم از صفات حیاتی برای سازگاری تحت تنش شوری است (Sabagh et al., 2021). انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش به دو روش مستقیم (اندازه‌گیری عملکرد) و غیر مستقیم (اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با تحمل تنش) انجام می‌شود (Naqavi & Khalili, 2018). یک راه حل دائمی برای به‌حداقل رساندن اثرات مضر شوری، استفاده از ارقامی است که در شرایط شور توانایی رشد داشته و تولید اقتصادی داشته باشند. در این راستا داشتن درک کلی از فیزیولوژی گیاه در برابر تنش به منظور انتخاب ارقام و بهبود تحمل به شوری مهم است (Hosseini et al., 2021). بررسی وزن خشک اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم برگ ارقام گندم یک معیار مناسب جهت انتخاب ارقام متحمل به تنش شوری در گندم است؛ زیرا ارقام متحمل به تنش شوری در شرایط تنش از وزن خشک و نسبت پتاسیم به سدیم بیشتری در برگ برخوردارند (Farhoudi & Khodarahmpour, 2015). رابطه بین نسبت یون پتاسیم به یون سدیم (K^+/Na^+) در بسیاری از گیاهان عامل تعیین‌کننده میزان عملکرد در شرایط تنش شوری بوده است (Asgari Golestani et al., 2017).

گونه *Ae. tauschii* با اعطای ژنوم D به گندم‌های زراعی به‌عنوان اصلی‌ترین خویشاوند وحشی گندم نان شناخته شده‌است. ژنوم D منبع ارزشمندی جهت مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی است که می‌تواند بهبود ارقام گندم را تسهیل کند (Mansouri et al., 2019). (Ahmadi et al., 2018) در ارزیابی مجموعه بزرگی از ژرم‌پلاسم گندم در شرایط تنش شوری گزارش کرده‌اند که توانایی توده‌های گندم برای حفظ پتاسیم در تحمل آن‌ها به تنش شوری حیاتی است. همچنین محتوای کلروفیل می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مفید برای تعیین سطح تحمل در گندم استفاده شود. زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه، سطح برگ، محتوای نسبی آب، غلظت رنگدانه فتوسنتزی و سایر پارامترها در گیاهچه گندم تحت تنش کاهش می‌یابند (Pour-Aboughadareh et al., 2021). گزارش شده‌است که رشد ریشه‌ها تحت شرایط شور بستگی به حفظ نسبت بین K^+/Na^+ و جذب انتخابی یون‌ها در ناحیه توسعه ریشه‌ها داشته و به‌نظر می‌رسد که تجمع سدیم در ناحیه رشد برگ‌ها نمی‌تواند باعث ایجاد مسمومیت یونی و ممانعت از رشد برگ شود (Maqsoodi Mood & Heravi, 2014).

ارزیابی تحمل گیاهان به تنش‌های زیست‌محیطی به‌ویژه در خلال مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه عامل مهمی در انتخاب آن‌ها برای کشت در شرایط مختلف می‌باشد. از آنجایی که ارزیابی‌های معمول در شرایط مزرعه‌ای از یک سو زمان‌بر و از سوی دیگر تحت تاثیر عوامل غیر قابل کنترل متعددی از جمله عوامل اقلیمی و عملیات زراعی می‌باشند؛ بنابراین با استفاده از یک روش آزمایشگاهی تحت شرایط کنترل شده امکان ارزیابی سریع و نسبتاً دقیق عکس‌العمل گیاهان به تنش فراهم می‌شود. در زمینه ارقام گیاهان زراعی متحمل به تنش شوری از جمله گندم معمولاً صفاتی نظیر تجمع و توزیع یون‌هایی مانند کلر، سدیم و پتاسیم، توانایی فتوسنتز، روابط آبی گیاه، تولید اسمولیت‌های سازگار، تغییرات وزن خشک گیاه و عملکرد گیاه لحاظ می‌شود (Farhoudi & Khodarahmpour, 2015). از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف مطالعه تغییرات صفات مورفو-فیزیولوژیکی در ۱۰۹ توده از گونه *Ae. tauschii* جمع‌آوری شده از مناطق مختلف جهان و مقایسه تحمل آنها به تنش شوری در شرایط گلخانه انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی پاسخ مورفو-فیزیولوژیکی ۱۰۹ توده از گونه *Ae. tauschii* جمع‌آوری شده از نقاط مختلف جهان تحت تاثیر تنش شوری در مرحله رشد گیاهچه در گلخانه و آزمایشگاه ژنومیکس دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) واقع در قزوین انجام شد. کلیه توده‌های مورد مطالعه از بانک ژن غلات دانشگاه ایلام (Ilam University Gene Bank; IUGB) تهیه شدند (جدول ۱). آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل دو سطح شوری (صفر و ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و فاکتور دوم شامل ۱۰۹ توده *Ae. tauschii* بود. در این آزمایش از دو رقم گندم نان متحمل به شوری (ارگ) و حساس به شوری (دربا) به‌عنوان شاهد استفاده شد. هر واحد آزمایشی شامل یک گلدان پلاستیکی به ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر و قطر دهانه ۵ سانتی‌متر بود و در هر گلدان پنج بذر گندم کشت شد. شرایط رشدی گلخانه با دوره نوری ۸:۱۶ (روشنایی: تاریکی) و شرایط دمایی ۲۵-۲۰ درجه سلسیوس در حد مطلوب برای رشد گیاهچه‌ها بهینه شد. تغذیه گیاهان مورد بررسی با محلول غذایی هوگلند (Hogland & Arnon, 1950) انجام شد. پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها تا مرحله پنج‌برگی تنش شوری با استفاده از نمک NaCl با غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار (هدایت الکتریکی برابر ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر) اعمال شد. به‌منظور جلوگیری از وارد شدن تنش ناگهانی به گیاهچه‌ها، اعمال تنش به‌صورت مرحله‌ای و به همراه محلول غذایی کامل هوگلند صورت گرفت؛ به‌طوری‌که تنش شوری با غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار آغاز و در دوره‌های بعدی به تدریج افزایش یافت تا غلظت نهایی ۳۰۰ میلی‌مولار اعمال شد. آبیاری به‌صورت مرتب هر دو روز یک‌بار انجام و در هر بار آبیاری محلول غذایی موجود در هر زیرگلدانی تخلیه شد تا از این طریق از تجمع نمک در بخش‌های زیرین گلدان جلوگیری به عمل آید. پس از اتمام دوره اعمال تنش شوری، اقدام به اندازه‌گیری محتوای نسبی کلروفیل بافت برگ در مرحله گیاهچه (پنج‌برگی) با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر مدل

SPAD-502 Konica Minolta Sensing شد. سپس وزن تر اندام هوایی (گیاهچه پنج‌برگی قبل از ساقه‌رفتن) و ریشه به‌صورت

جداگانه در هر واحد آزمایشی با استفاده از ترازوی دقیق در واحد بوته بر حسب گرم به دست آمد. به منظور به دست آوردن وزن خشک، اندام هوایی و ریشه به صورت مجزا با استفاده از پاکت کاغذی به درون آون با شرایط دمایی ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت منتقل و سپس وزن خشک آن‌ها بر حسب گرم در واحد بوته اندازه‌گیری شد.

جدول ۱. کد و منشأ ۱۰۹ توده *Aegilops tauschii* مورد استفاده در آزمایش تنش شوری.

Genotypes	Accession code	Origin	Genotypes	Accession code	Origin
1	BW_01025	Armenia	298	BW_01149	Iran
4	BW_01027	Armenia	303	BW_01156	Iran
16	BW_01046	Armenia	307	BW_01157	Iran
32	BW_01047	Armenia	314	BW_01160	Iran
36	BW_01048	Armenia	316	BW_01163	Iran
37	BW_01183	Armenia	325	BW_01164	Iran
38	BW_01184	Armenia	328	BW_01166	Iran
44	BW_01192	Armenia	330	BW_01168	Iran
63	BW_01007	Azerbaijan	331	BW_01173	Iran
65	BW_01008	Azerbaijan	333	BW_01189	Iran
66	BW_01009	Azerbaijan	10	BW-00485	Iran
67	BW_01010	Azerbaijan	56	BW-00079	Iran
70	BW_01011	Azerbaijan	62	BW-00162	Iran
71	BW_01012	Azerbaijan	631	BW-00206	Iran
72	BW_01040	Azerbaijan	651	BW-00286	Iran
73	BW_01043	Azerbaijan	68	BW-00346	Iran
75	BW_01044	Azerbaijan	78	BW-00888	Iran
76	BW_01045	Azerbaijan	90	BW-01267	Iran
115	BW_01067	Azerbaijan	105	BW-00236	Iran
123	BW_01069	Azerbaijan	334	BW_01125	Japan
125	BW_01072	Azerbaijan	337	BW_01126	Japan
126	BW_01091	Azerbaijan	338	BW_01128	Japan
127	BW_01102	Azerbaijan	339	BW_01129	Japan
128	BW_01104	Azerbaijan	341	BW_01014	Kazakhstan
137	BW_01108	Azerbaijan	342	BW_01013	Pakistan
140	BW_01119	Azerbaijan	344	BW_01036	Pakistan
166	BW_01120	Azerbaijan	345	BW_01037	Pakistan
167	BW_01121	Azerbaijan	346	BW_01055	Kosovo
214	BW_01122	Azerbaijan	347	BW_01085	Kosovo
217	BW_01123	Azerbaijan	348	BW_01093	Kosovo
219	BW_01034	China	225	BW_01087	Russia
221	BW_01038	China	352	BW_01030	Russia
229	BW_01028	Georgia	353	BW_01088	Russia
233	BW_01056	Georgia	356	BW_01134	Russia
238	BW_01057	Georgia	360	BW_01050	Syria
244	BW_01058	Georgia	361	BW_01029	Tajikistan
246	BW_01059	Georgia	372	BW_01035	Tajikistan
249	BW_01185	Georgia	373	BW_01101	Tajikistan
271	BW_01186	Georgia	374	BW_01032	Turkey
272	BW_01002	Iran	376	BW_01033	Turkey
273	BW_01003	Iran	379	BW_01080	Turkey
274	BW_01006	Iran	380	BW_01081	Turkey
277	BW_01086	Iran	381	BW_01082	Turkey
279	BW_01094	Iran	382	BW_01131	Turkey
280	BW_01095	Iran	385	BW_01026	Turkmenistan
281	BW_01098	Iran	387	BW_01051	Turkmenistan
282	BW_01099	Iran	401	BW_01052	Turkmenistan
283	BW_01132	Iran	405	BW_01053	Turkmenistan
287	BW_01133	Iran	409	BW_01054	Turkmenistan
289	BW_01136	Iran	447	BW_01089	Turkmenistan
290	BW_01137	Iran	448	BW_01115	Turkmenistan
291	BW_01138	Iran	449	BW_01127	Turkmenistan
292	BW_01139	Iran	450	BW_01031	Uzbekistan
293	BW_01143	Iran	452	BW_01049	Uzbekistan
296	BW_01147	Iran			

برای اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم برگ (اندام هوایی گیاهچه) و ریشه از هر نمونه به میزان ۰/۱ گرم ماده خشک توزین و در لوله آزمایشی ۱۵ میلی‌لیتری منتقل شد. سپس به هر نمونه میزان ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه اضافه و به مدت دو ساعت در دمای ۹۵ درجه سلسیوس درون بن‌ماری نگهداری شده و سپس نمونه‌ها با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. فاز رویی پس از عبور از کاغذ صافی به لوله‌های جدید انتقال یافته و با استفاده از آب دیونیزه به حجم نهایی ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. از عصاره‌های شفاف و تصفیه‌شده جهت تعیین میزان سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر (AFP-100) استفاده شد.

تجزیه واریانس بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین برای صفات بر اساس آزمون دانکن انجام شد. به‌منظور گروه‌بندی توده‌ها از تجزیه خوشه‌ای سلسله مراتبی و فاصله اقلیدسی به عنوان معیار عدم تشابه مورد نیاز در روش خوشه‌بندی استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS Ver. 26 و Excel انجام شد.

۳. نتایج پژوهش و بحث

در این مطالعه به بررسی تعدادی از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تحت تنش شوری و ارتباط بین آن‌ها پرداخته شد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) حاصل از بررسی تاثیر دو سطح عدم تنش و تنش شوری (صفر و ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl) بر صفات مورد مطالعه در ۱۰۹ توده وحشی از گونه *Ae. tauschii* نشان داد که توده‌های مورد بررسی از نظر کلیه صفات (سدیم اندام هوایی، سدیم ریشه، پتاسیم اندام هوایی، پتاسیم ریشه، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی، محتوای نسبی کلروفیل برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه) بجز صفت نسبت پتاسیم به سدیم ریشه با یکدیگر در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار داشتند که معنی‌دار شدن اثر توده برای صفات نامبرده حاکی از وجود تنوع ژنتیکی زیاد بین توده‌های مورد مطالعه می‌باشد. تاثیر سطح تنش شوری نیز بر صفات یاد شده به جز صفت پتاسیم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید و همچنین اثر متقابل شوری×توده برای کلیه صفات به جز وزن تر اندام هوایی و وزن تر ریشه معنی‌دار شد. این بدین معنی است که توده‌ها واکنش‌های متفاوتی تحت تنش شوری نشان داده‌اند.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین صفات در شرایط شاهد و تنش شوری (جدول ۳) مشاهده شد که تنش شوری اثر بازدارندگی بر صفات وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم ریشه دارد و تنش شوری موجب کاهش میزان صفات نامبرده نسبت به شاهد شده است. بنابراین می‌توان این‌گونه بیان کرد که این صفات بیشتر تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفته و تنوع بالایی بین توده‌های مورد بررسی از لحاظ این صفات وجود دارد؛ لذا می‌توان از این تنوع جهت انتخاب توده‌های برتر برای اهداف به‌نژادی و بهبود خصوصیات توده‌ها در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد. در بقیه صفات (سدیم اندام هوایی، سدیم ریشه، پتاسیم اندام هوایی، پتاسیم ریشه و محتوای نسبی کلروفیل برگ) نیز مشاهده شد که اعمال تنش شوری نسبت به شاهد موجب افزایش میزان این صفات شده است.

با وجود اینکه دفع یون سدیم از اندام‌های هوایی گیاه به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های مهم تحمل به شوری در گندم است، اما در این آزمایش رقم ارگ که رقم متحمل به شوری است در شرایط شوری نسبت به شاهد از غلظت بیشتر سدیم در بافت ریشه و اندام هوایی برخوردار بود. همانگونه که قبلاً اشاره شد، افزایش املاح خاک باعث افزایش غلظت سدیم بافت‌ها می‌شود. افزایش غلظت سدیم، غلظت پتاسیم بافت‌ها را کاهش می‌دهد و در نتیجه نسبت پتاسیم به سدیم در بافت‌ها که یکی از خصوصیات مهم تحمل به شوری محسوب می‌شود، کاهش می‌یابد (Atlasi Pak et al., 2017). در این مطالعه نیز شاهد کاهش نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و ریشه در تنش شوری ۳۰۰ میلی‌مولار نسبت به شرایط نرمال بودیم که این مسئله تاییدکننده افزایش جذب یون سدیم نسبت به یون پتاسیم در شرایط شوری می‌باشد. همچنین مشاهده شد که غلظت پتاسیم در اندام هوایی نسبت به ریشه بیشتر بوده و همچنین غلظت یون سدیم در اندام هوایی و ریشه تقریباً به یک اندازه بود و این مطلب نشان‌دهنده توزیع یکنواخت‌تر یون سدیم نسبت به یون پتاسیم در شرایط شوری می‌باشد. در گیاهان تحت تنش، پتاسیم به برگ‌ها انتقال داده می‌شود؛ در حالی که

سدیم به شکل یکنواخت‌تری توزیع می‌شود. از این‌رو، نسبت پتاسیم به سدیم در گیاهان واقع در شرایط نرمال، بیشتر از گیاهان تحت تنش می‌باشد. با افزایش شوری محیط، نسبت پتاسیم به سدیم کاهش می‌یابد. تجمع کمتر سدیم در بافت گیاهی و در نتیجه افزایش پتاسیم بافت، موجب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه شده و در نتیجه باعث افزایش تحمل گیاه به نمک می‌شود (Naqavi & Khalili, 2018).

در شرایط شوری، کاهش در وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در توده‌های مورد بررسی مشاهده شد که این مسئله می‌تواند به دلیل وجود غلظت بالای یون سدیم باشد؛ زیرا غلظت بالای این یون موجب برهم‌زدن تعادل غذایی شده و باعث سمیت یونی و اختلال در تنظیم اسمزی می‌شود. از طرف دیگر غلظت بالای یون سدیم که از عناصر اصلی شوری است، فرآیندهای بیوشیمیایی در بافت‌های گیاهی را مختل و یا حتی می‌تواند از انجام آن‌ها ممانعت به عمل آورد و سنتز پروتئین‌های لازم تحت چنین شرایطی دستخوش تغییرهای کمی و کیفی می‌شود که به نوبه خود باعث اختلال در فرآیند رشد می‌شود (Naqavi & Khalili, 2018). همچنین تنش شوری با تاثیر سوء بر فرآیند جوانه‌زنی، توزیع یون‌ها، فتوسنتز و قابلیت دسترسی به آب برای گیاه در نهایت موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی از جمله گندم می‌شود (Farhoudi & Khodarahmpour, 2015).

نتایج تجزیه همبستگی بین صفات مورد بررسی (جدول ۴) نشان داد که هر دو صفت سدیم ریشه و سدیم اندام هوایی با صفت محتوای نسبی کلروفیل برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه همبستگی منفی و معنی‌دار داشتند؛ به این معنی که با افزایش غلظت یون سدیم در گیاه تحت تنش شوری، شاهد کاهش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی خواهیم بود. این نتیجه در بررسی‌هایی که توسط سایر محققان نیز صورت گرفته، مشاهده شده‌است (Munns et al., 2003; Yadlariou & Heravan, 2008). همچنین در زمینه تاثیر تنش شوری بر رشد گیاه ذرت نیز بیان کرده‌اند که شوری باعث کاهش میزان رشد نسبی و در نتیجه کاهش ماده خشک کل گیاه شده است (Yadlariou & Heravan, 2008). در شرایط تنش شوری میزان سدیم افزایش یافته و فعالیت‌های جذب و نگهداری سلول‌های آوند چوبی به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد که باعث کاهش رشد و بقای گیاه می‌شود (Iqra et al., 2020).

میزان موثر بودن ریشه‌ها به‌عنوان اندام‌های جذب‌کننده، به وسعت سیستم ریشه‌ای بستگی دارد. یک عامل مهم در میزان تحمل به شوری رقم‌های گندم، چگونگی توسعه سیستم ریشه‌ای آن‌ها است. شوری زیاد، رشد گیاهچه را به دلیل افزایش پتانسیل اسمزی و سمیت بعضی از یون‌ها کاهش می‌دهد. با وجود اینکه ریشه‌ها بیشتر در تماس با نمک بودند، کاهش میزان رشد اندام هوایی در این آزمایش بیشتر از ریشه‌ها بود و نشان‌دهنده این است که بخش هوایی بیشتر تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفته است. محدود شدن رشد اندام هوایی از یک طرف و بسته شدن روزه‌ها از طرف دیگر باعث کاهش فتوسنتز در شرایط تنش شوری شده و میزان تولید ماده خشک گیاه در واحد سطح کاهش می‌یابد (Maqsoodi Mood & Heravi, 2014)؛ لذا در این مطالعه نمی‌توان صفت محتوای نسبی کلروفیل برگ را جهت گزینش توده‌های متحمل به شوری به کار برد.

سدیم ریشه با پتاسیم ریشه رابطه مثبت و معنی‌دار داشت؛ در حالی که رابطه بین سدیم اندام هوایی و پتاسیم اندام هوایی منفی شد. مکانیسم تحمل به شوری در گندم عمدتاً مربوط به انتقال مقدار بسیار کم سدیم به اندام‌های هوایی می‌باشد و در عین حال انتقال یون پتاسیم بیشتر انجام می‌شود (Gorham et al., 1987, 1990) که این می‌تواند دلیل تفاوت همبستگی رابطه سدیم و پتاسیم در اندام هوایی و ریشه باشد. از مهمترین اثرات فیزیولوژیکی شوری بر گندم، اختلال در جذب یون‌های غذایی و تجمع یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها است که در نهایت کاهش رشد گیاه و عملکرد دانه را در پی دارد (Mahmoudieh Champiri & Abutalebian, 2021). به بیان دیگر غلظت بالای عناصر سدیم و کلر در خاک‌های شور بر جذب برخی عناصر نظیر پتاسیم و کلسیم موثر بوده و باعث کاهش جذب این عناصر می‌شود. بنابراین افزایش جذب پتاسیم و ممانعت از ورود سدیم یکی از سازوکارهای مهم تحمل به شوری است. این سازوکار منجر به تعادل نسبت سدیم به پتاسیم در سیتوسل و افزایش تحمل گیاه به شوری می‌شود (Madhaj, 2021). همچنین تنش یونی توسط یون‌های سدیم و کلر اضافی ایجاد می‌شود که وارد گیاه شده و منجر به عدم تعادل یونی شدید می‌شود و جذب پتاسیم که یک عنصر ضروری برای رشد و نمو است را مهار می‌کند.

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورفو-فیزیولوژیکی در ۱۰۹ توده *Ae. tauschii* تحت تنش شوری.

Mean square (M.S)												
S.o.V	Df	Shoot Na ⁺	Shoot K ⁺	Shoot K/Na	Root Na ⁺	Root K ⁺	Root K/Na	Chlorophyll content	FSW	DSW	FRW	DRW
Rep	2	3.81 ^{ns}	15.18 ^{**}	0.004 ^{ns}	39.50*	134.08 ^{**}	0.002 ^{**}	7.66 ^{ns}	1.91 ^{**}	0.30 ^{**}	5.42 ^{**}	0.07 ^{**}
Salinity	1	29383.21 ^{**}	42.84 ^{**}	0.32 ^{**}	48559.47 ^{**}	0.47 ^{ns}	0.41 ^{**}	32662.85 ^{**}	145.67 ^{**}	6.98 ^{**}	33.78 ^{**}	1.51 ^{**}
Accessions	110	72.78 ^{**}	26.47 ^{**}	0.01 ^{**}	25.05 ^{**}	6.75 ^{**}	0.002 ^{**}	23.19 ^{**}	0.78 ^{**}	0.05 ^{**}	0.22 ^{**}	0.011 ^{**}
Salinity× Accessions	110	54.88 ^{**}	9.10 ^{**}	0.004 ^{**}	24.57 ^{**}	6.57 ^{**}	0.002 ^{**}	23.97 ^{**}	0.41 ^{ns}	0.048*	0.12 ^{ns}	0.009*
Error	442	17.96	2.75	0.001	9.94	1.66	0.001	13.44	0.34	0.036	0.10	0.007
CV		30	43	25	20.5	31	25	11.7	25	10.6	11.7	3.9

*، ** و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم اختلاف معنی دار می باشد.

FSW: Fresh Shoot Weight, DSW: Dry Shoot Weight, FRW: Fresh Root Weight, DRW: Dry Root Weight.

جدول ۳. مقایسه میانگین تاثیر تنش شوری بر صفات مورفو-فیزیولوژیکی گیاهچه گندم.

	Shoot Na ⁺	Shoot K ⁺	Shoot K/Na	Root Na ⁺	Root K ⁺	Root K/Na	Chlorophyll content	FSW	DSW	FRW	DRW
Non-stress	7.11 ^b	3.59 ^b	0.065 ^a	6.82 ^b	4.05 ^a	0.067 ^a	24.22 ^b	1.83 ^a	0.45 ^a	1.08 ^a	0.22 ^a
Salinity	20.40 ^a	4.10 ^a	0.021 ^b	23.90 ^a	4.11 ^a	0.018 ^b	38.22 ^a	0.89 ^b	0.24 ^b	0.63 ^b	0.13 ^b

FSW: Fresh Shoot Weight, DSW: Dry Shoot Weight, FRW: Fresh Root Weight, DRW: Dry Root Weight.

جدول ۴. همبستگی بین صفات مورد بررسی در توده های *Ae. tauschii* تحت تاثیر تنش شوری.

	Shoot Na ⁺	Root Na ⁺	Shoot K ⁺	Root K ⁺	Shoot K/Na	Root K/Na	Chlorophyll content	FSW	FRW	DSW
Root Na ⁺	0.03 ^{ns}									
Shoot K ⁺	-0.04 ^{ns}	0.03 ^{ns}								
Root K ⁺	0.06 ^{ns}	0.10*	-0.04 ^{ns}							
Shoot K/Na	0.25 ^{**}	0.18 ^{**}	-0.01 ^{ns}	0.08*						
Root K/Na	0.5 ^{**}	0.70 ^{**}	-0.04 ^{ns}	0.43 ^{**}	0.2 ^{**}					
Chlorophyll content	0.66 ^{**}	0.80 ^{**}	0.04 ^{ns}	0.00 ^{ns}	-0.17 ^{**}	-0.60 ^{**}				
FSW	-0.47 ^{**}	-0.50 ^{**}	-0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.18 ^{**}	0.40 ^{**}	-0.51 ^{**}			
FRW	-0.39 ^{**}	-0.44 ^{**}	-0.04 ^{ns}	0.08*	0.22 ^{**}	0.42 ^{**}	-0.46 ^{**}	0.71 ^{**}		
DSW	-0.34 ^{**}	-0.40 ^{**}	0.01 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.28 ^{**}	-0.40 ^{**}	0.68 ^{**}	0.46 ^{**}	
DRW	-0.32 ^{**}	-0.42 ^{**}	0.02 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.33 ^{**}	-0.42 ^{**}	0.45 ^{**}	0.43 ^{**}	0.42 ^{**}

*، ** و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم اختلاف معنی دار می باشد.

FSW: Fresh Shoot Weight, DSW: Dry Shoot Weight, FRW: Fresh Root Weight, DRW: Dry Root Weight.

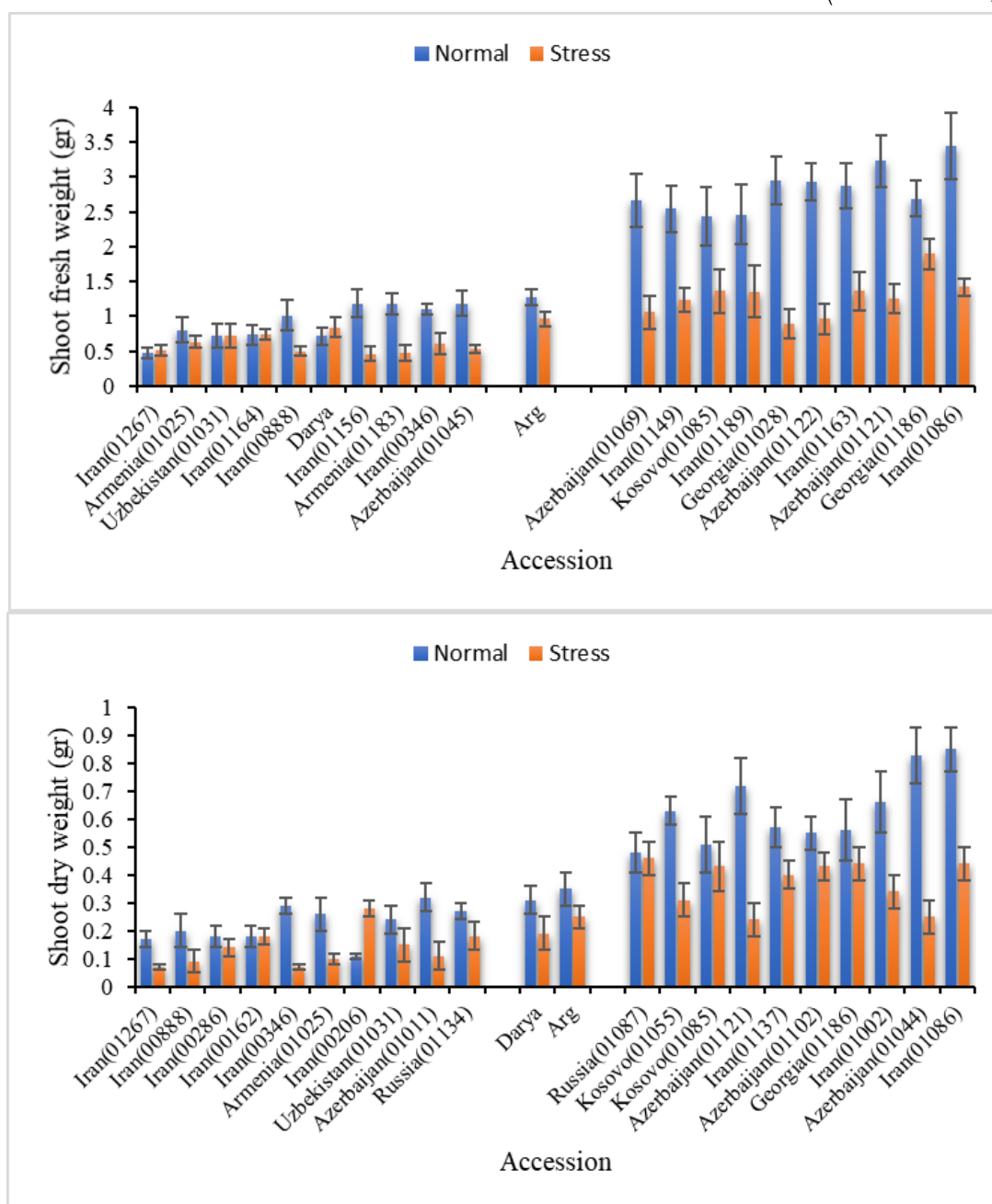
تنش‌های یونی و اسمزی ناشی از شوری می‌توانند منجر به کاهش عملکرد و احتمالاً مرگ گیاه شوند (Mansouri et al., 2019)؛ هنگامی که گیاهان قادر به کنترل جذب سدیم نسبت به جذب پتاسیم نباشند، تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی از سطوح مورد نظر فراتر رفته و باعث آسیب سلولی می‌شود (Hosseini et al., 2021).

جهت شناسایی و معرفی توده‌های دارای کمترین و بیشترین میانگین مربوط به هر صفت و مقایسه آن‌ها با ارقام شاهد ارگ و دریا، اقدام به جداسازی و مقایسه ده توده دارای پایین‌ترین و بالاترین میانگین صفات مورد بررسی در شرایط وجود و عدم وجود تنش شوری شد. همان‌گونه که از نمودارها مشخص است توده‌هایی از کشورهای ایران، گرجستان، کوزوو، آذربایجان و روسیه دارای بالاترین میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی بودند که نشان‌دهنده رشد متناسب آن‌ها در شرایط تنش شوری می‌باشد (شکل ۱). برخی توده‌های جمع‌آوری شده از کشورهای ایران، سوریه، ترکیه، گرجستان، آذربایجان، کوزوو، ازبکستان و ترکمنستان نیز در میان ده توده دارای بالاترین میانگین وزن تر و خشک ریشه مشاهده شدند (شکل ۲). نکته جالب توجه این است که رقم گندم ارگ که در بین ارقام گندم به‌عنوان یک رقم متحمل به شوری شناخته شده است، در شمار ده توده دارای بالاترین میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه قرار نگرفته است و به عبارتی ده توده مورد نظر بهتر از رقم شاهد و متحمل ارگ بودند. بالاترین غلظت سدیم و پتاسیم اندام هوایی (شکل ۳) نیز در برخی توده‌های جمع‌آوری شده از کشورهای ترکمنستان، کوزوو، ترکیه، ایران، گرجستان، پاکستان و آذربایجان مشاهده شد که غلظت بالای سدیم نشان‌دهنده انتقال هرچه بیشتر سدیم از ریشه به سمت اندام هوایی و ذخیره‌سازی در واوکول‌ها و جذب بیشتر پتاسیم می‌باشد که یکی از راهکارهای مقابله با تنش شوری است. در رابطه با غلظت سدیم و پتاسیم ریشه نیز برخی توده‌های جمع‌آوری شده از کشورهای ترکمنستان، ایران، آذربایجان، روسیه، تاجیکستان، کوزوو، ژاپن و گرجستان دارای بالاترین میانگین بودند (شکل ۴). توده‌هایی از کشورهای ایران، ترکمنستان، کوزوو، ژاپن، ترکیه، تاجیکستان و گرجستان دارای بالاترین نسبت پتاسیم به سدیم در اندام‌های هوایی و ریشه بودند (شکل ۵) که نشان‌دهنده حفظ تعادل یون‌های پتاسیم و سدیم در شرایط تنش شوری می‌باشد. رقم شاهد و مقاوم ارگ به اندازه ده توده بالایی قادر به حفظ تعادل یونی نبوده و در میان ده توده دارای بالاترین میانگین صفت نسبت پتاسیم به سدیم قرار نگرفت. در مجموع برخی توده‌های جمع‌آوری شده از کشورهای ایران، گرجستان، کوزوو، آذربایجان و ترکمنستان از نظر صفات مورد مطالعه عملکرد قابل قبولی را در شرایط تنش شوری حتی نسبت به رقم شاهد مقاوم ارگ نشان دادند.

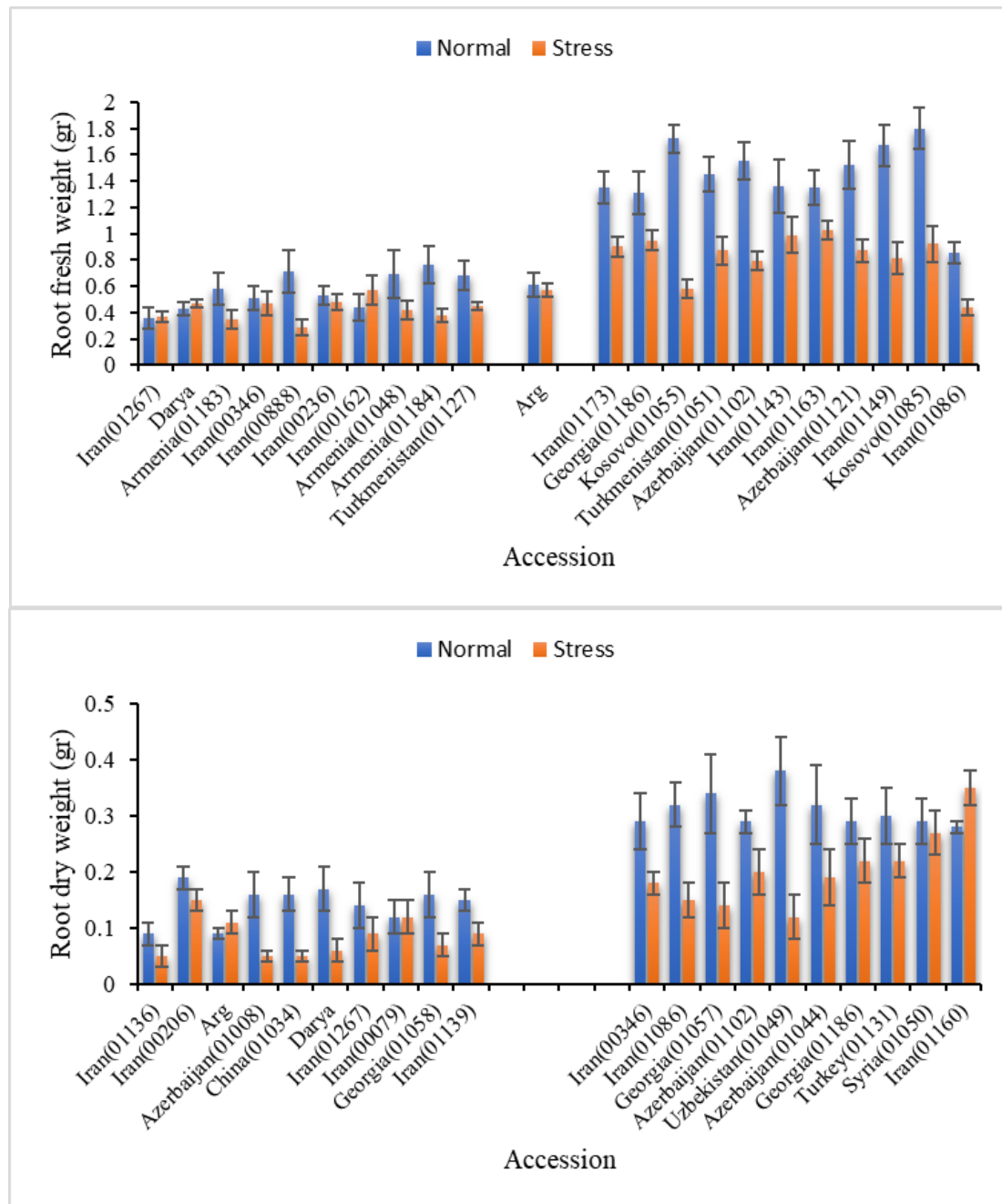
از تجزیه خوشه‌ای Ward با استفاده از ضریب فاصله اقلیدسی به منظور تقسیم افراد به چند خوشه مجزا در شرایط وجود و عدم وجود تنش شوری استفاده شد (Ward, 1963). نمودار درختی به‌دست‌آمده از تجزیه خوشه‌ای در شرایط عدم وجود تنش، تمام توده‌ها را به پنج گروه اصلی و نه زیرگروه و نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای در شرایط تنش شوری توده‌ها را در هشت گروه و ۱۵ زیرگروه تفکیک کرد (شکل ۶). جهت انتخاب بهترین زیرگروه‌ها، میانگین هر زیرگروه در صفات مورد بررسی محاسبه شد (جدول ۵). با توجه به میانگین‌های حاصل مشخص شد که در شرایط عدم تنش زیرگروه E-1، B-1 و E-2 میزان کمتری از سدیم را در اندام هوایی جذب و ذخیره کرده‌اند. همچنین در رابطه با جذب و ذخیره‌سازی سدیم در ریشه نیز زیرگروه‌های E-1، C-2 و A-2 عملکرد بهتری نسبت به سایر زیرگروه‌ها نشان دادند. بهترین عملکرد در مورد صفت پتاسیم در اندام هوایی را می‌توان به گروه‌های C و D و در ریشه به گروه‌های C-1 و B-2 نسبت داد که توانستند مقادیر بیشتری از پتاسیم را جذب و جایگزین سدیم کنند. در رابطه با وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه نیز زیرگروه‌های C-1، E-1، D و A-1 بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند.

با توجه به میانگین زیرگروه‌های حاصل از نمودار درختی در شرایط تنش شوری (جدول ۶) مشخص شد که غلظت سدیم اندام هوایی در گروه E کمترین میزان را به خود اختصاص داده‌است که این میزان تا حدودی نزدیک به عملکرد توده‌ها در تیمار شاهد می‌باشد. در غلظت سدیم ریشه نیز همه زیرگروه‌ها تا حدودی عملکرد یکسانی از خود نشان دادند و زیرگروه‌های A-1، B-1 و C-2 کمترین مقدار سدیم ریشه را به خود اختصاص دادند. در نتیجه می‌توان اینگونه بیان داشت که توده‌های موجود در این زیرگروه‌ها از تحمل بیشتری نسبت به تنش شوری در اندام هوایی و ریشه برخوردار هستند. توده‌هایی که در زیرگروه‌های G-2 و H-2 قرار گرفتند دارای بیشترین میزان پتاسیم در اندام هوایی و توده‌هایی که در زیرگروه‌های G-2، H-1 و F-2 قرار گرفتند دارای بیشترین

میزان پتاسیم در ریشه بودند که نشان دهنده جذب بهتر پتاسیم در مواجهه با تنش شوری و تحمل بیشتر در توده‌های آن زیرگروهها می‌باشد؛ زیرا همانگونه که قبلا اشاره شد غلظت بالای عناصر سدیم و کلر در خاک‌های شور بر جذب برخی عناصر نظیر پتاسیم و کلسیم موثر بوده و باعث کاهش جذب این عناصر می‌شود. بنابراین افزایش جذب پتاسیم و ممانعت از ورود سدیم یکی از سازو-کارهای مهم تحمل به شوری است (Madhaj, 2021). در رابطه با وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه نیز توده‌های موجود در زیرگروه‌های D-1 و G-2 توانستند میزان بالاتری از وزن را در مواجهه با تنش شوری حفظ کنند. در واقع می‌توان اینگونه استنباط کرد که زیرگروه G-2 با جذب بیشتر یون پتاسیم از طریق ریشه توانسته رشد و نمو بهتری داشته و از وزن تر و خشک بیشتری برخوردار شود؛ زیرا جذب پتاسیم یک عنصر ضروری برای رشد و نمو است و تنش‌های یونی و اسمزی ناشی از تنش شوری از طریق اختلال در جذب یون پتاسیم می‌توانند منجر به کاهش عملکرد، ماده خشک گیاه و احتمالا مرگ گیاه شوند (Mansouri et al., 2019).

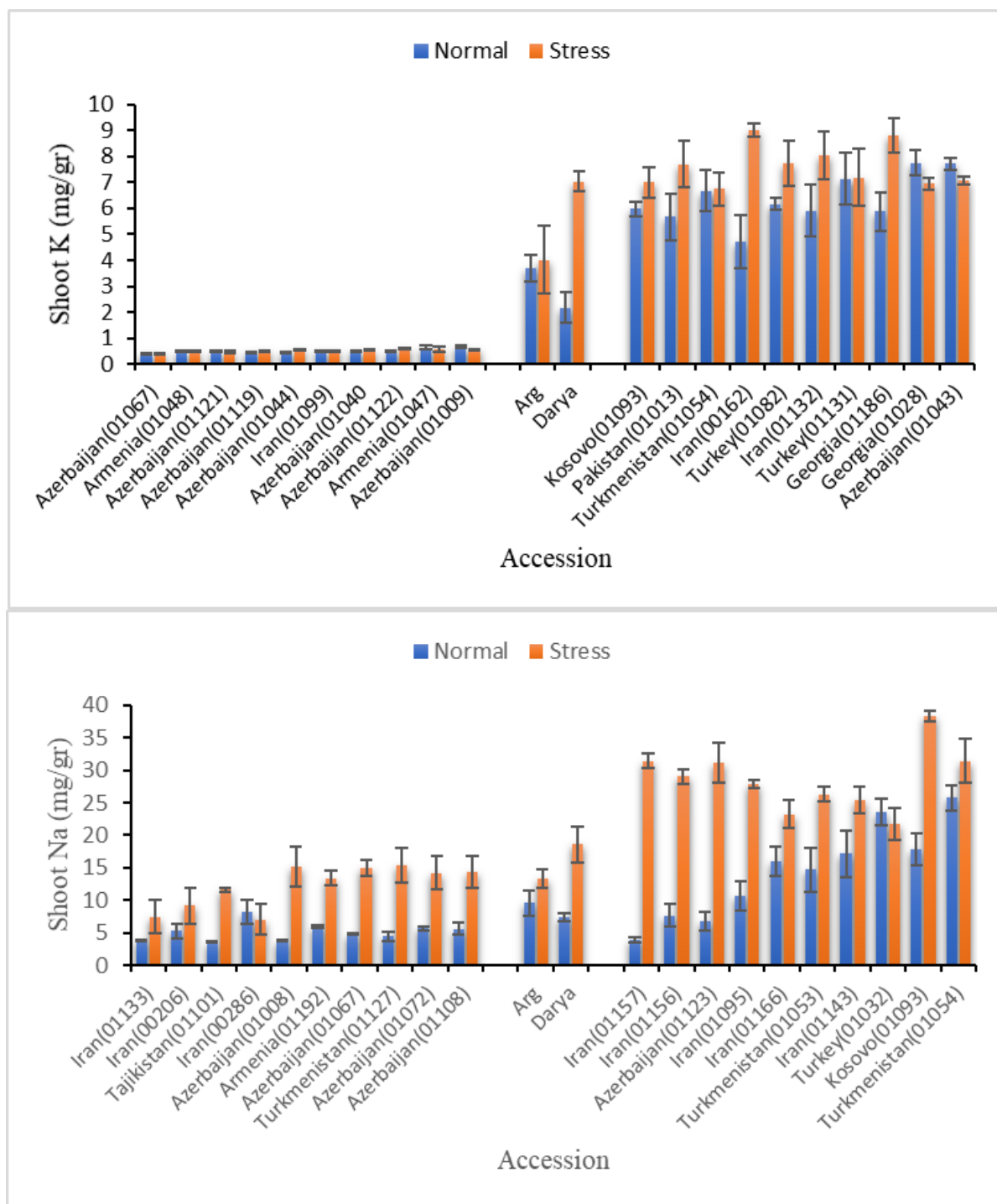


شکل ۱. مقایسه ده توده *Ae. tauschii* دارای کمترین و بیشترین میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی تحت شرایط نرمال و تنش شوری.

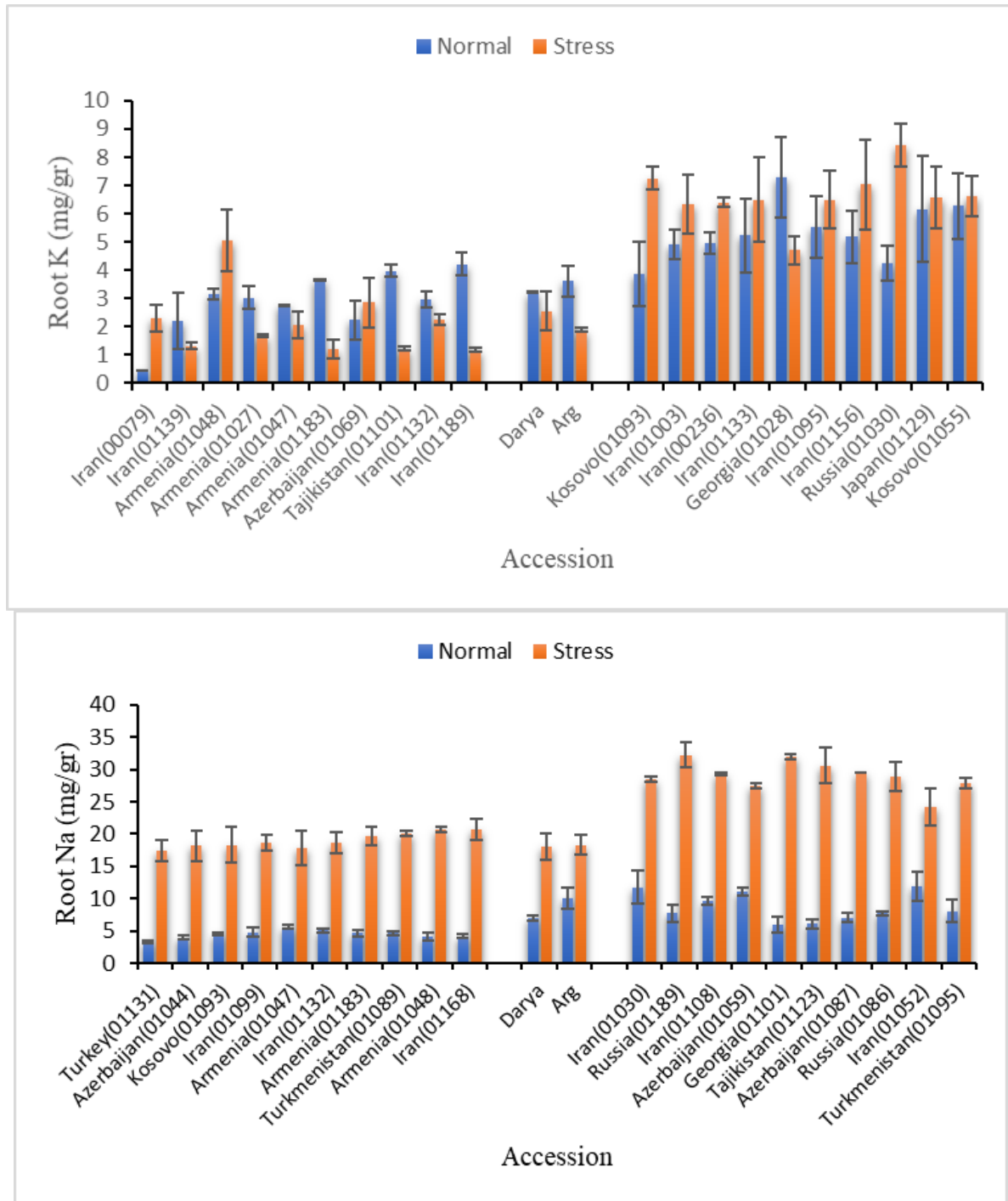


شکل ۲. مقایسه ده توده *Ae. tauschii* دارای کمترین و بیشترین میانگین وزن تر و خشک ریشه تحت شرایط نرمال و تنش شوری.

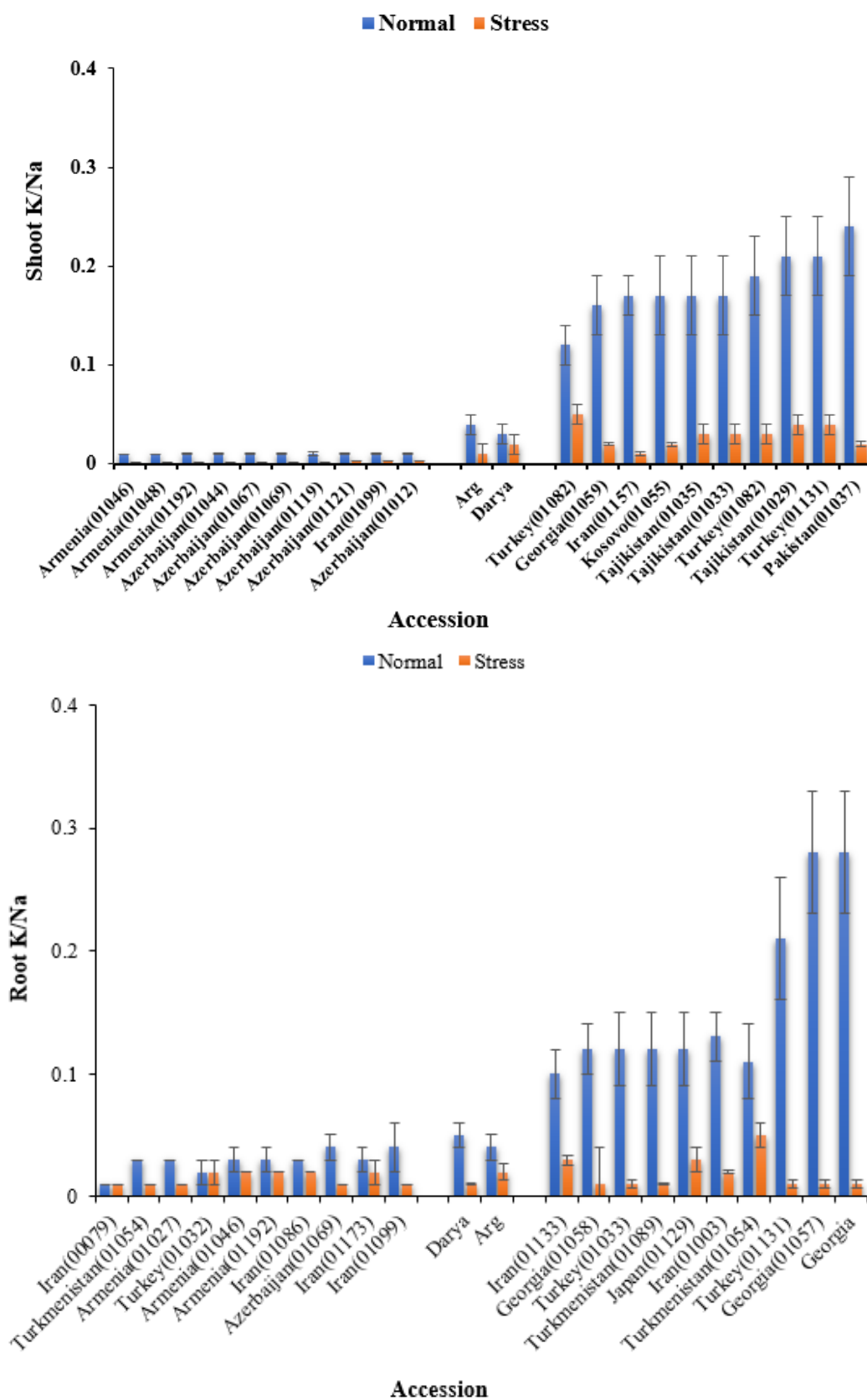
حفظ وزن تر و خشک گیاهچه تحت تنش‌های مختلف به‌عنوان یک معیار قابل اعتماد برای تحمل به شرایط نامساعد محیطی برای گونه‌های مختلف گیاهی از جمله گندم در نظر گرفته شده است. بنابراین از نتایج حاصل می‌توان اینگونه بیان کرد که زیرگروه‌های دارای بالاترین میزان وزن تر و خشک که از نسبت پتاسیم به سدیم متوسطی نیز برخوردار هستند دارای مقاومت یا تحمل بیشتری نسبت به تنش شوری هستند. با توجه به نمودار درختی و میانگین زیرگروه‌ها می‌توان اینگونه بیان کرد که توده‌های جمع‌آوری شده از کشورهای ایران، گرجستان، کوزوو، آذربایجان و ترکمنستان دارای تحمل بیشتری نسبت به تنش شوری بودند.



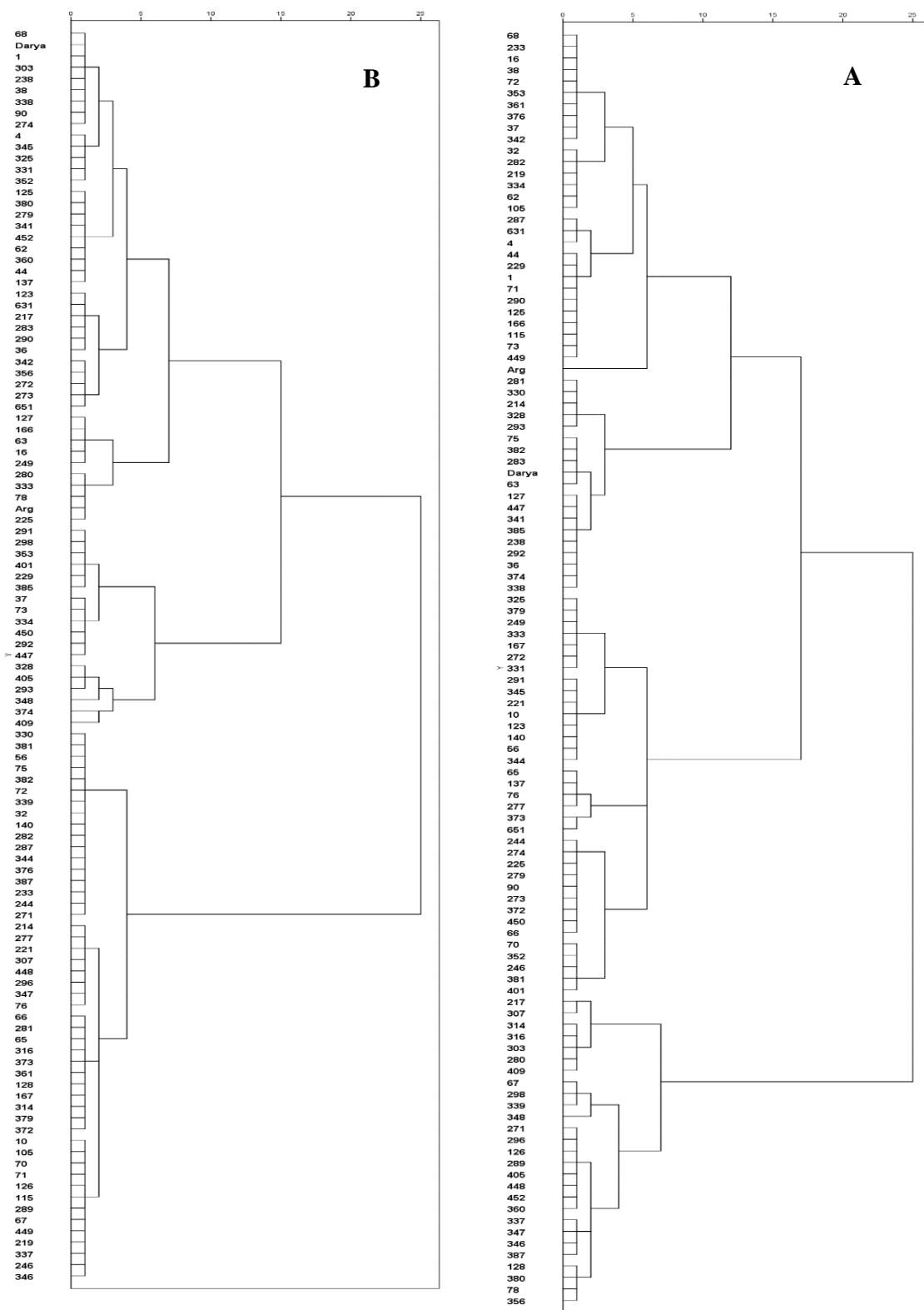
شکل ۳. مقایسه ده توده *Ae. tauschii* دارای کمترین و بیشترین میانگین پتاسیم و سدیم اندام هوایی تحت شرایط نرمال و تنش شوری.



شکل ۴. مقایسه ده توده *Ae. tauschii* دارای کمترین و بیشترین میانگین پتاسیم و سدیم ریشه تحت شرایط نرمال و تنش شوری.



شکل ۵. مقایسه ده توده *Ae. tauschii* دارای کمترین و بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و ریشه تحت شرایط نرمال و تنش شوری.



شکل ۶. نمودار درختی تجزیه خوشه‌ای توده‌های *Ae. tauschii* تحت تنش شوری (A) و عدم تنش (B).

جدول ۵. میانگین صفات در زیرگروه‌های تجزیه خوشه‌های توده‌های *Ae. tauschii* در شرایط عدم تنش.

Subgroup	Shoot Na ⁺	Root Na ⁺	Shoot K ⁺	Root K ⁺	Shoot K/Na	Root K/Na	Chlorophyll content	FSW	DSW	FRW	DRW
A-1	72.29 ^{bc}	73.83 ^{bc}	3.66 ^{ab}	3.82 ^{ac}	0.06 ^a	0.05 ^{cd}	24.14 ^{ac}	1.64 ^a	0.39 ^{ab}	0.98 ^{ab}	0.30 ^a
A-2	77.89 ^c	48.88 ^a	3.23 ^{ab}	3.50 ^{bc}	0.05 ^a	0.07 ^{ac}	23.43 ^{bc}	1.82 ^a	0.45 ^{ab}	0.95 ^{ab}	0.22 ^a
B-1	62.06 ^b	107.26 ^d	2.60 ^c	4.12 ^{ac}	0.04 ^a	0.04 ^d	26.13 ^a	1.86 ^a	0.45 ^{ab}	1.05 ^{ab}	0.25 ^a
B-2	100.06 ^d	110.30 ^d	3.31 ^{ab}	4.89 ^{ab}	0.04 ^a	0.05 ^{cd}	25.46 ^{ab}	1.63 ^a	0.32 ^b	0.84 ^b	0.21 ^a
C-1	117.50 ^e	78.83 ^{bc}	4.89 ^{ab}	4.96 ^a	0.05 ^a	0.06 ^{bd}	23.85 ^{ac}	2.19 ^a	0.49 ^{ab}	1.15 ^{ab}	0.24 ^a
C-2	123.82 ^e	55.13 ^a	4.81 ^{ab}	4.3 ^{ac}	0.06 ^a	0.08 ^{ab}	22.79 ^c	1.64 ^a	0.46 ^{ab}	1.03 ^{ab}	0.24 ^a
D	191.68 ^f	81.68 ^c	5.54 ^a	3.23 ^c	0.05 ^a	0.05 ^{bd}	25.35 ^{ab}	2.20 ^a	0.51 ^a	1.18 ^a	0.25 ^a
E-1	38.60 ^a	40.39 ^a	3.37 ^{ab}	4.26 ^{ac}	0.09 ^a	0.09 ^a	24.29 ^{ac}	1.97 ^a	0.49 ^a	1.11 ^{ab}	0.24 ^a
E-2	43.56 ^a	66.94 ^b	3.18 ^{ab}	4.11 ^{ac}	0.08 ^a	0.06 ^{bd}	24.01 ^{ac}	1.83 ^a	0.46 ^{ab}	1.12 ^{ab}	0.23 ^a

FSW: Fresh Shoot Weight, DSW: Dry Shoot Weight, FRW: Fresh Root Weight, DRW: Dry Root Weight.

جدول ۶. میانگین صفات در زیرگروه‌های تجزیه خوشه‌های توده‌های *Ae. tauschii* در شرایط تنش شوری.

Subgroup	Shoot Na ⁺	Root Na ⁺	Shoot K ⁺	Root K ⁺	Shoot K/Na	Root K/Na	Chlorophyll content	FSW	DSW	FRW	DRW
A-1	172.95 ^c	204.61 ^a	3.47 ^a	3.42 ^{bc}	0.02 ^a	0.02 ^{ab}	36.77 ^a	0.78 ^a	0.21 ^a	0.57 ^a	0.11 ^{ab}
A-2	140.45 ^b	229.15 ^c	2.75 ^a	4.01 ^{ac}	0.03 ^a	0.02 ^{ac}	36.83 ^a	0.81 ^a	0.3 ^a	0.59 ^a	0.16 ^{ab}
B-1	133.30 ^b	183.50 ^a	4.02 ^a	1.89 ^d	0.03 ^a	0.35 ^a	42.03 ^a	0.96 ^a	0.25 ^a	0.57 ^a	0.11 ^{ab}
C-1	239.64 ^f	206.26 ^{ab}	3.23 ^a	4.37 ^{ac}	0.01 ^a	0.02 ^a	39.56 ^a	0.90 ^a	0.20 ^a	0.67 ^a	0.13 ^{ab}
C-2	206.79 ^e	199.68 ^a	4.24 ^a	3.37 ^{bc}	0.02 ^a	0.02 ^{ac}	37.58 ^a	0.82 ^a	0.23 ^a	0.59 ^a	0.13 ^{ab}
D-1	179.00 ^{cd}	247.86 ^d	4.91 ^a	4.81 ^{ac}	0.03 ^a	0.02 ^{ac}	39.26 ^a	1.16 ^a	0.25 ^a	0.71 ^a	0.12 ^{ab}
D-2	205.42 ^e	239.20 ^{cd}	2.86 ^a	3.82 ^{ac}	0.01 ^a	0.02 ^{ac}	39.71 ^a	0.84 ^a	0.22 ^a	0.59 ^a	0.11 ^{ab}
E-1	154.53 ^b	286.58 ^e	2.31 ^a	3.70 ^{ac}	0.01 ^a	0.02 ^{ac}	38.30 ^a	0.78 ^a	0.26 ^a	0.64 ^a	0.13 ^{ab}
E-2	98.39 ^a	291.95 ^e	2.75 ^a	2.53 ^c	0.04 ^a	0.01 ^b	37.59 ^a	1.00 ^a	0.22 ^a	0.58 ^a	0.12 ^{ab}
F-1	194.07 ^{de}	281.54 ^e	3.57 ^a	4.05 ^{ac}	0.02 ^a	0.01 ^{ac}	38.77 ^a	0.87 ^a	0.23 ^a	0.60 ^a	0.12 ^{ab}
F-2	231.39 ^f	291.02 ^e	4.74 ^a	5.51 ^{ab}	0.02 ^a	0.02 ^{ab}	37.90 ^a	1.15 ^a	0.27 ^a	0.75 ^a	0.13 ^{ab}
G-1	312.54 ^h	321.85 ^f	4.7 ^a	4.14 ^{ac}	0.02 ^a	0.01 ^{bc}	37.94 ^a	0.83 ^a	0.18 ^a	0.66 ^a	0.11 ^b
G-2	286.98 ^g	287.72 ^e	5.25 ^a	5.64 ^{ab}	0.02 ^a	0.02 ^{ab}	36.71 ^a	1.03 ^a	0.36 ^a	0.74 ^a	0.17 ^a
H-1	285.44 ^g	222.63 ^{bc}	4.82 ^a	5.94 ^a	0.02 ^a	0.03 ^b	38.82 ^a	0.84 ^a	0.25 ^a	0.66 ^a	0.14 ^{ab}
H-2	242.73 ^f	251.52 ^d	6.13 ^a	4.29 ^{ac}	0.03 ^a	0.02 ^{ac}	39.86 ^a	0.97 ^a	0.23 ^a	0.67 ^a	0.13 ^{ab}

* FSW: Fresh Shoot Weight, DSW: Dry Shoot Weight, FRW: Fresh Root Weight, DRW: Dry Root Weight.

۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مشخص شد که تنش شوری بر تمامی صفات مورد بررسی بجز غلظت پتاسیم ریشه تاثیر معنی‌دار داشت. نتایج این آزمایش نشان داد که تنش شوری کاهش مقادیر صفات موفولوژیکی و فیزیولوژیکی را به همراه داشت. تنش شوری ۳۰۰ میلی‌مولار موجب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه توده‌های مورد بررسی شد. برخی توده‌ها از کشورهای ایران، ترکمنستان، کوزوو، ژاپن، ترکیه، تاجیکستان و گرجستان دارای بالاترین نسبت پتاسیم به سدیم در اندام‌های هوایی و ریشه بودند که نشان‌دهنده حفظ تعادل یون‌های پتاسیم و سدیم در شرایط تنش شوری می‌باشد. حتی رقم شاهد و مقاوم ارگ به اندازه ده توده بالایی قادر به حفظ تعادل یونی نبوده و در میان ده توده دارای بالاترین میانگین نسبت پتاسیم به سدیم قرار نگرفت. در مجموع نیز برخی توده‌های جمع‌آوری‌شده از کشورهای ایران، گرجستان، کوزوو، آذربایجان و ترکمنستان از نظر صفات مورد مطالعه عملکرد قابل قبولی را در شرایط تنش شوری حتی نسبت به رقم شاهد مقاوم ارگ نشان دادند. همچنین نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای و بررسی میانگین زیرگروه‌ها نشان داد که توده‌های جمع‌آوری‌شده از کشورهای ایران، گرجستان، کوزوو، آذربایجان و ترکمنستان دارای مقاومت و تحمل بیشتری نسبت به تنش شوری بودند.

۵. منابع

Ahmadi, J., Pour-Aboughadareh, A., Fabriki-Ourang, S., Mehrabi, A.A., & Siddique, K.H.M. (2018). Screening wild progenitors of wheat for salinity stress at early stages of plant growth: Insight into potential sources of variability for salinity adaptation in wheat. *Crop Pasture Science*, 69, 649-658.

- Asgari Golestani, A.R., Ramezani, S.S., Barzoui, A., Sultanloh, H., & Nawabpour, S. (2017). Evaluation of salinity tolerance of the fifth generation of bread wheat lines, using some stress tolerance indices. *Journal of Agricultural Plant Production*, 2, 35-49. (In Persian).
- Atlasi Pak, V., Bahmani, A., & Asdebagi, M. (2017). Investigation of sodium concentration and ratio of potassium to sodium as a criterion of tolerance to salinity in wheat and barley. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products*, 3. (In Persian).
- Farhoudi, R., & Khodarahmpour, Z. (2015). Evaluation of the physiological response of 19 wheat cultivars to salinity stress in the seedling stage. *Plant Process and Function*, 11. (In Persian).
- Gorham, J., Hardy, C., Wyn Jones, R.G., Joppa, L.R., & Law, C.N. (1987). Chromosomal location of a K/Na discrimination character in the D genome of wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 74, 584-588.
- Gorham, J., Wynn Jones, R.G., & Bristol, A. (1990). Partial characterization of the trait for enhanced K⁺/Na⁺ discrimination in the D genome of wheat. *Planta*, 180, 590-597.
- Hogland, D.R., & Arnon, D.I. (1950). The water – culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station*, 374, 1-32.
- Hosseini, Z., Zare-Bavani, M.Z., & Zare, A. (2021). The effect of salt stress on yield and accumulation of some minerals in two salt-tolerant and susceptible onion cultivars. *Desert*, 26(2), 157-171.
- Iqra, L., Rashid, M.S., Ali, Q., Latif, I., & Malik, A. (2020). Evaluation of Na⁺ /K⁺ ratio under salt stress condition in wheat. *Life Science Journal*, 17(7).
- Klay, I., Riahi, L., Slim Amara, H., & Daaloul, A. (2019). Genotypic variability for salt stress tolerance among wild and cultivated wheat germplasms at an early development stage. *De Gruyter*, 4, 375-380.
- Madhaj, A. (2021). Physiology of salinity stress in wheat. *Bi-quarterly Journal of Plant and Agricultural Sciences*, 2. (In Persian).
- Mahmoudieh Champiri, R., & Abutalebian, M.A. (2021). Investigation of the physiological characteristics of two varieties of wheat (*Triticum aestivum*) in response to salinity and mycorrhizal stress. *Iranian Plant Sciences*, 4, 86-73. (In Persian).
- Mansouri, M., Naghavi, M.R., Alizadeh, H., Mohammadi-Nejad, G., Mousavi, S.A., Hosseini Salekdeh, G., & Tada, Y. (2019). Transcriptomic analysis of *Aegilops tauschii* during long-term salinity stress. *Functional & Integrative Genomics*, 19, 13-28
- Maqsoodi Mood, A., & Heravi, M. (2014). Effect of salinity stress on seedling growth rate and accumulation of sodium, potassium and calcium ions in wheat cultivars (*Triticum aestivum*). *Crop and Horticulture Production and Processing Journal*, 15. (In Persian).
- Munns, R., James, R.A., & Lauchli, A. (2003). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57, 1025-1043.
- Naqavi, M., & Khalili, M. (2018). Evaluation of the effect of salinity stress induced by sodium chloride on morphological, physiological and biochemical traits and proteome pattern of autumn rapeseed. *Genetic Novin*, 2, 147-161. (In Persian).
- Pour-Aboghadareh, A., Mehrvar, M.R., Sanjani, S., Amini, A., Nikkhal Chaman-Abad, H., & Asadi, A. (2021). Effects of salinity stress on seedling biomass, physiochemical properties and grain yield in different breeding wheat genotypes. *Research Square*, 43, 1-14.
- Sabagh, A., Islam, M.S., Skalicky, M., Ali Raza, M., Singh, K., Anwar Hossain, M., Hossain, A., Mahboob, W., Iqbal, M.A., Ratnasekera, D., Singhal, R.K., Ahmed, S., Kumari, A., Wasaya, A., Sytar, O., Brestic, M., ÇIG, F., Erman, M., Habib Ur Rahman, M., Ullah, N., & Arshad, A. (2021). Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: Adaptation and Management Strategies. *Frontiers in Agronomy*, 3, 661932.
- Yadlari, L., & Majidi Heravan, E. (2008). Evaluation of salinity stress on morphophysiological traits of four saltiness tolerant wheat cultivars. *Journal of Iran Agronomic Research*, 6(1), 205-215.
- Ward, J.H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 236-244.