

(OPEN ACCESS)

Evaluation of relationships between some developmental and biochemical traits of soybean under salt stress by canonical correlation analysis and ideal genotype selection index at seedling stage

Bahram Masoudi*

Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Seed and Plant Improvement Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: bmasoudi@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Soybean, like other legumes, is in the group of plants sensitive to salinity, and considering that, like other crops, it faces a decrease in yield under salinity stress conditions, therefore, it is important to discover the mechanisms that control the response of soybean to salinity and to select cultivars that do not face a decrease in yield under salinity conditions, from the aspect of agricultural and economic productivity. This study aimed to determine the relationships between traits related to seedling growth and biochemical traits and identify soybean genotypes that are tolerant to salt stress.
Article history: Received: 07.01.2024 Revised: 08.24.2024 Accepted: 09.15.2024	
Keywords: Canonical correlation analysis, Hydroponics, Salinity stress, Selection index of ideal genotypes, Soybean	
	Materials and Methods: Two separate randomized complete block designs, one for the control treatment with zero salinity and the other for the salinity treatment with 150 mM sodium chloride, were used to evaluate 30 soybean genotypes under hydroponic culture under greenhouse conditions at the seed and plant improvement institute, Karaj, Iran, in 2016. In this study, the following traits related to seedling growth and biochemical traits were investigated: leaf area index, stem height, root length, fresh and dry weight of both shoots and roots, chlorophyll content, salt injury index, the amount of sodium and potassium in shoots and roots, the ratio of potassium to sodium in shoots and roots, and the transfer ratio of sodium and potassium from roots to shoots.
	Results: AMMI variance analyses showed that genotype, environment (salinity treatments), and their interactions significantly affected soybean shoot weight changes. The results showed that the effect of the environment on the shoot fresh weight was high. The changes in traits under stress conditions with normal conditions showed that we observed a decrease in most traits, except for the salt injury index, amount of sodium and potassium in shoots, amount of sodium in roots, and the transfer ratio of sodium and potassium from roots to shoots. Fresh and dry weight of shoots in both conditions had a positive and significant correlation with shoot height, root length, leaf area, fresh and dry weight of roots, and potassium to sodium ratio of shoots under stress conditions, and they also had a significant negative correlation with salt injury index and root sodium content under stress conditions. Canonical correlation analysis under salt stress conditions for the set of traits related to seedling growth in contrast to the set of biochemical traits led to the creation of a significant

non-correlated variable, the first pair of variables were called "shoots characteristics" and "amount of sodium accumulation in shoots and the salt injury index" respectively. To select the best genotypes using all the examined traits under stress conditions, the selection index of ideal genotypes was used. Based on the SIIG index, the genotypes Lee, Vernal, LYON, I504, Crawford, and Douglas, which had the highest SIIG value, were among the genotypes that were tolerant to salinity.

Conclusion: When separating genotypes into tolerant and sensitive categories, both the canonical correlation analysis and ideal genotype selection index methods were very similar. Based on these traits, the genotypes were divided into tolerant and sensitive groups. Except for the chlorophyll content trait, the reactions of the remaining traits in the tolerant and sensitive genotypes were the same. The results showed that soybean genotypes tolerant to salinity have higher seedling height, leaf area, and shoot weight; on the other hand, they often have a lower salinity injury index and lower sodium content in the shoot.

Cite this article: Masoudi, Bahram. 2025. Evaluation of relationships between some developmental and biochemical traits of soybean under salt stress by canonical correlation analysis and ideal genotype selection index at seedling stage. *Journal of Plant Production Research*, 32 (1), 39-61.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2024.22129.3112

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی روابط بین برخی از صفات رشدی و زیست شیمیایی سویا تحت تنش شوری به وسیله تجزیه همبستگی کانونیک و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل در مرحله گیاهچه‌ای

بهرام مسعودی*

نویسنده مسئول، استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
رایانامه: bmasoudi@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: سویا مانند سایر بقولات در گروه گیاهان حساس به شوری است و نظر به آن که مانند سایر گیاهان زراعی تحت شرایط تنش شوری با کاهش عملکرد مواجه می‌شود، بنابراین کشف سازوکارهایی که پاسخ سویا به شوری را کنترل می‌کنند و انتخاب ارقامی که در شرایط شوری با کاهش عملکرد روبرو نشوند، از جنبه زراعی و بهره‌وری اقتصادی بسیار مهم است. هدف این پژوهش تعیین روابط بین مجموعه صفات مرتبط با رشد گیاهچه و صفات زیست‌شیمیایی و استفاده از این روابط و صفات در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شوری در سویا بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵	
واژه‌های کلیدی: تجزیه همبستگی متعارف، تنش شوری، سویا، شاخص انتخاب ژنوتیپ مطلوب، هیدروپونیک	مواد و روش‌ها: دو طرح بلوک کامل تصادفی جداگانه یکی برای تیمار شاهد با شوری صفر و دیگری برای تیمار شوری با ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، برای ارزیابی ۳۰ ژنوتیپ سویا به صورت کشت هیدروپونیک در شرایط گلخانه‌ای در مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال ۱۳۹۶ استفاده شد. در این مطالعه صفات مرتبط با رشد گیاهچه و صفات زیست از جمله شاخص سطح برگ، ارتفاع ساقه، طول ریشه، وزن تر و خشک هر دو اندام هوایی و ریشه، میزان کلروفیل (SPAD value)، شاخص صدمه شوری (Salt injury index)، میزان سدیم و پتاسیم در اندام هوایی و ریشه، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و ریشه، و نسبت جابه‌جایی سدیم و پتاسیم از ریشه به اندام هوایی مورد بررسی قرار گرفت.
	یافته‌ها: تجزیه واریانس امی نشان داد که ژنوتیپ، محیط (تیمارهای شوری) و برهمکنش‌های آن‌ها اثر معنی‌داری بر تغییرات وزن تر اندام هوایی سویا داشتند. صفات وزن خشک و تر اندام هوایی در هر دو شرایط دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با صفات ارتفاع اندام هوایی، طول

ریشه، سطح برگ، وزن خشک و تر ریشه و با نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در شرایط تنش بودند و همچنین در شرایط تنش دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با شاخص صدمه شوری و محتوای سدیم ریشه بودند. تجزیه همبستگی‌های متعارف در شرایط تنش شوری برای مجموعه صفات مرتبط با رشد گیاهچه‌ها در مقابل مجموعه صفات زیست‌شیمیایی به ایجاد یک متغیر غیرهمبسته معنی‌دار انجامید. به منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از تمام صفات موردبررسی در شرایط تنش از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) استفاده شد. بر اساس شاخص SIIG، ژنوتیپ‌های Lee، Vernal، LYON، J504، Crawford و Douglas جزء ژنوتیپ‌های متحمل به شوری بودند.

نتیجه‌گیری: در تفکیک ژنوتیپ‌ها به دودسته متحمل و حساس هر دو روش تجزیه همبستگی کانونیک و روش شاخص انتخاب ژنوتیپ مطلوب مشابهت فراوانی باهم داشتند. به جز صفت محتوای کلروفیل در بقیه صفات واکنش دودسته ژنوتیپ‌های متحمل و حساس یکسان بود. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های سویای متحمل به شوری دارای ارتفاع گیاهچه بلندتر، سطح برگ بیشتر و وزن‌تر اندام هوایی بیش‌تری بوده و از طرف دیگر اغلب دارای شاخص صدمه شوری کم‌تر و میزان سدیم در اندام هوایی کم‌تری می‌باشند.

استناد: مسعودی، بهرام (۱۴۰۴). ارزیابی روابط بین برخی از صفات رشدی و زیست‌شیمیایی سویا تحت تنش شوری به‌وسیله تجزیه همبستگی کانونیک و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل در مرحله گیاهچه‌ای. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۲ (۱)، ۶۱-۳۹.

DOI: 10.22069/jopp.2024.22129.3112



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

سویا (*Glycine max*) یک محصول مهم اقتصادی برای خوراک دام، مصرف انسانی و مصارف صنعتی و همچنین به عنوان منبعی برای تولید بیودیزل است. سویا مانند سایر بقولات در گروه گیاهان حساس به شوری است و مانند سایر گیاهان زراعی تحت شرایط تنش شوری با کاهش عملکرد مواجه می شود (۱ و ۲). شوری خاک در حال تبدیل شدن به یک مشکل فزاینده است که با کشاورزی در بسیاری از کشورها مرتبط است و حدود ۲۰ درصد از زمین های قابل کشت آبی (تقریباً ۶۰ میلیون هکتار) در سراسر جهان را تحت تأثیر قرار می دهد (۳). طبق گزارش فائو شوری خاک هر سال حدود ۰/۳ تا ۱/۵ میلیون هکتار از زمین های کشاورزی را از تولید خارج می کند و پتانسیل تولید را در ۲۰ تا ۴۶ میلیون هکتار کاهش می دهد (۳). شوری اثر نامطلوبی بر رشد گیاه دارد زیرا باعث ایجاد تنش اسمزی، اختلال در فرآیندهای متابولیکی و جذب عناصر غذایی ماکرو و میکرو می شود (۴). این اثرات نامطلوب شوری بر جوانه زنی بذر، رشد گیاه (۵ و ۶) و تشکیل گره تأثیر می گذارد (۷). تحمل شوری در گیاهان یکسان نیست و در یک گیاه نیز مراحل مختلف رشد و نمو ممکن است حساسیت های متفاوتی نسبت به تنش شوری نشان دهد (۸). چندین گونه از محصولات می توانند تدابیر سازگاری مختلفی را برای افزایش توانایی های خود برای حفظ رشد و بهره وری در خاک های شور ایجاد کنند. در نتیجه انتخاب ارقامی که در شرایط شوری با کاهش عملکرد مواجه نشوند از اهمیت به سزایی برخوردار است (۹). برای مقابله با شوری خاک، علاوه بر اصلاح خاک، رویکردهای مورد استفاده در اصلاح ژنتیکی ژنوتیپ های سویا برای افزایش بهره وری آنها در شرایط شور نیز دارای

اهمیت است؛ بنابراین، کشف سازوکارهای کنترل کننده پاسخ سویا به شوری به منظور بهبود عملکرد دانه سویا با تحمل به شوری بسیار مهم است.

مشکلات متعددی غربالگری ژنوتیپ های متحمل به شوری را در مزرعه با مشکل مواجه می کند. در فواصل نزدیک چند متری و در تاریخ های مختلف، سطوح شوری سطح مزرعه می تواند به طور قابل توجهی با یکدیگر متفاوت باشد، حتی اگر در ابتدا در یک سطح تنظیم شده باشند (۱۰). حفظ سطوح مختلف شوری در محیط خاک در مراحل مختلف در تیمارهای آزمایشی هم نیازمند زمان و هم تلاش است و عملاً غیرممکن است. کشت هیدروپونیک با توانایی رساندن سریع غلظت شوری به مقدار مورد نظر، به عنوان روشی پیشرو در ارزیابی های شوری تبدیل شده است (۱۱). در سویا مرحله گیاهچه نسبت به مرحله جوانه زنی (۱۲) و گیاه کامل (۱۳) حساس ترین مرحله به تنش شوری است. مطالعات متعددی برای شناسایی تحمل به شوری در مرحله گیاهچه در سویا انجام شده است (۱۴ و ۱۵). مطالعه تنوع مرحله خاصی از رشد در پاسخ به استرس به شناسایی اجزای توارثی تحمل به شوری کمک خواهد کرد (۱۶). رابطه بین میزان رشد اولیه و عملکرد در سویا توسط پژوهشگران متعددی مورد تأکید قرار گرفته است (۱۷ و ۱۸). یافته های تحقیقاتی همبستگی معنی داری را در شرایط شوری بین مرحله جوانه زنی و عملکرد زیستی نشان می دهد و نحوه واکنش گیاهچه ها به شوری به میزان بالایی واکنش گیاه کامل را به شوری پیش بینی می کند (۱۹). تحمل به شوری می تواند توسط اندازه گیری عملکرد، محتوای کلروفیل برگ، وزن خشک ریشه و کانوپی، سطح و تعداد برگ های سبز، تعداد برگ های پیر شده بررسی گردد (۲۰). در بیش تر موارد، ویژگی های

(۲۷). معیار بهینه‌سازی، به حداکثر رساندن مقدار تغییرات چند متغیره نیست، بلکه حداکثر کردن ارتباط بین دو گروه از متغیرها است. روش تجزیه همبستگی کانونیک می‌تواند روابط پیچیده بین گروه‌های بزرگی از متغیرها را توصیف کند. با این حال باید در تفسیر آن دقت کرد. تحلیل همبستگی متعارف یک شاخص رابطه بین علت و معلول نیست (۲۸). این روش به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی ارتباط دو مجموعه متفاوت از متغیرها استفاده می‌شود، حتی زمانی که خود متغیرها در هر مجموعه همبستگی دارند (۲۹). همبستگی‌های متعارف را می‌توان برای تخمین ارتباط بین دو گروه مختلف از صفات، به‌عنوان مثال بین صفات فیزیولوژیکی و زراعی و یا اجزای اولیه و ثانویه تولید، صفات اندام هوایی و سیستم ریشه به‌کار برد (۳۰). به‌عنوان مثال در سویا برای بررسی روابط بین صفات زراعی با خصوصیات کیفی بذر (۳۱) یا صفات فیزیولوژیکی و آب و هوایی با اجزای عملکرد دانه (۳۲) از تجزیه همبستگی متعارف استفاده شد.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از مجموعه‌ای از صفات، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های مطلوب را افزایش می‌دهد. شاخص انتخاب ژنوتیپ مطلوب (Selection index of ideal genotypes; SIIG) یکی از روش‌های آماری چندمتغیره است که بر اساس مجموعه‌ای از صفات یا شاخص‌های مختلف، ژنوتیپ‌های مطلوب را شناسایی می‌کند (۳۳ و ۳۴). شاخص SIIG یک مدل گزینش‌گر بوده و به‌منظور انتخاب ایده‌آل‌ترین ارقام و لاین‌ها از بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی به‌کار می‌رود؛ به‌عبارت دیگر با استفاده از روش SIIG می‌توان صفات مختلف را به‌صورت یک شاخص واحد درآورد و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مطمئن‌تر و دقیق‌تر انجام داد (۳۴، ۳۵، ۳۶ و ۳۷).

کشاورزی ژنوتیپ‌های متحمل از همتایان حساس خود پیشی می‌گیرد. شاخص دیگری که می‌تواند در آزمایش‌های شوری استفاده شود عبارتند از میزان کلروز برگ، تجمع یون کلر و سدیم در برگ‌ها و ریشه‌ها، سطوح یون‌های سدیم و پتاسیم در بذرها و همچنین جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سویا می‌باشد (۲۱ و ۲۲).

بحث اصلی در اندازه‌گیری صفات مختلف مرتبط با تحمل به شوری این است که چطور از تمام این اطلاعات اندازه‌گیری‌شده برای افزایش تحمل ژنوتیپ‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل استفاده نمود. تفسیر همبستگی زمانی که چندین متغیر به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته می‌شود، می‌تواند دست‌وپا گیر باشد. رویکردهای متعددی در شناسایی و حل این موضوعات وجود دارد. بررسی ارتباط بین دو گروه از متغیرها را می‌توان از طریق تحلیل همبستگی متعارف انجام داد که هدف آن تعیین یک ترکیب خطی برای هر گروه از متغیرها است، زیرا این متغیرها می‌توانند همبستگی بین دو گروه را به کم‌ترین میزان برسانند (۲۳). تجزیه و تحلیل همبستگی متعارف یک روش برای کاهش پیچیدگی ارتباط دو مجموعه از متغیرها است (۲۴). می‌توان از آن برای تخمین حداکثر همبستگی بین دو مجموعه متغیر که توسط ترکیبات خطی چندین صفت تشکیل شده‌اند استفاده نمود و همچنین امکان ارزیابی روابط متقابل بین دو مجموعه با تعداد دلخواه صفت را امکان‌پذیر می‌کند. این تجزیه و تحلیل اغلب در مطالعاتی استفاده می‌شود که شامل تعداد زیادی متغیر برای بررسی ترکیبات خطی هستند استفاده می‌شود (۲۵، ۲۶ و ۲۳). تجزیه همبستگی کانونیک ارتباط بین دو گروه از متغیرها را با ارزیابی همبستگی بین ترکیبات خطی یک گروه از متغیرها با ترکیبات خطی گروه دوم از متغیرها کمی‌سازی می‌کند

هدف اول این مطالعه شناسایی ارتباط معنی‌دار بین صفات مرتبط با رشد گیاهچه و صفات زیست‌شیمیایی سویا با استفاده از تجزیه همبستگی کانونیک و یافتن متغیرهایی است که بیش‌ترین نقش را در این روابط دارند. این امر درک بهتری از این که کدام ویژگی‌های زیست‌شیمیایی و ریخت‌شناسی تحمل به شوری را بهبود می‌دهد، فراهم می‌کند. هم‌چنین در ادامه شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری بر اساس مجموعه‌ای از صفات انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پروژه باهدف ارزیابی تعداد ۳۰ ژنوتیپ سویا که شامل ژنوتیپ‌های داخل کلکسیون بخش دانه‌های روغنی به همراه بعضی از ارقام تجارتي بود، انجام شد. با استفاده از هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد، ۵۰ دانه از هر ژنوتیپ به مدت یک دقیقه ضدعفونی گردید و سه بار با آب مقطر شستشو داده شد و در ادامه نمونه‌ها در ظروف پتری‌دیش مجزا حاوی آب مقطر به مدت بیست و چهار ساعت خیسانده شدند و در نهایت نمونه‌ها با استفاده از پنس روی کاغذ صافی منتقل شدند تا جوانه‌دار گردند. دو روز پس از جوانه‌زنی، بذره‌های جوانه‌زده شده به محیط کشت هیدروپونیک منتقل شدند. این پروژه از روش هیدروپونیک استفاده کرد که حاوی آب مقطر حاوی محلول غذایی هوگلند و آرنون (۴۰) بود که تمام مواد معدنی و عناصر ضروری برای رشد گیاه را فراهم می‌کرد. گنجایش جعبه‌های کشت ۲۵ لیتر بود که روی آن‌ها صفحات یونولیتی کاشت که سوراخ‌هایی به قطر ۲ سانتی‌متر روی آن تعبیه شده بود و کف آن‌ها توری چسبانده شده بود، استفاده شد. برای هوادهی سیستم از پمپ هوا استفاده شد بدین شکل که یک پمپ

شاخص SIIG برگرفته از مدل Topsis یا اولویت‌بندی براساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل می‌باشد که نخستین بار به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره معرفی شد (۳۸). یکی از مزایای استفاده از شاخص SIIG این است که تمام صفات در نظر گرفته شده و همه ژنوتیپ‌ها در این اثرات سهم دارند (۳۳). به عبارت دیگر در این شاخص، صفات مختلف به‌طور مستقیم در انتخاب ژنوتیپ‌ها مشارکت خواهند داشت (۳۷). شاخص SIIG یک مدل انتخابی است و برای انتخاب ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود. به عبارت دیگر با استفاده از شاخص SIIG می‌توان صفات مختلف را به یک شاخص تبدیل کرد و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را با اطمینان و دقت بیش‌تری انجام داد (۳۹). یکی دیگر از ویژگی‌های شاخص SIIG ادغام صفات با واحدهای مختلف است (۳۳) و این صفات می‌توانند طبیعت منفی و مثبت داشته باشند (۳۶).

از روش SIIG می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و هم‌چنین تعیین فاصله بین ژنوتیپ‌ها و خوشه‌بندی آن‌ها استفاده کرد. از دیگر ویژگی‌های شاخص SIIG این است که می‌توان از آن برای صفاتی مانند صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی نیز استفاده کرد که باعث افزایش کارایی انتخاب می‌شود. هر ژنوتیپ می‌تواند از نظر برخی شاخص‌ها یا صفات برتر باشد. با افزایش تعداد صفات یا شاخص‌ها، انتخاب ژنوتیپ مناسب دشوار می‌شود. در شاخص SIIG، همه شاخص‌ها یا صفات به یک شاخص تبدیل می‌شوند و رتبه‌بندی و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر آسان‌تر می‌شود (۳۳ و ۳۹). شاخص SIIG امکان انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را بر اساس صفات چندگانه، عاری از چندخطی بودن، فراهم می‌کند و نیازی به تعیین وزن ندارد.

هو داخل هر جعبه کشت قرار گرفت. در اجرای این آزمایش از دو طرح بلوک کامل تصادفی جداگانه استفاده شد یکی شامل تیمار عادی (شاهد، شوری صفر) و دیگری تیمار شوری (۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) (۴۱ و ۴۲)، که هر دو شامل ۳ تکرار بودند. هر ژنوتیپ در هر تکرار دارای چهار گیاهچه بود که در چهار حفره جدا کشت و ارزیابی شدند. تیمار شوری ۵۰ میلی‌مولار پنج روز پس از انتقال اعمال شد و طی سه روز به ۱۵۰ میلی‌مولار رسانده شد. به‌طور منظم، به‌صورت هفتگی، محلول غذایی تعویض می‌شد. هر روز، تنظیمات pH انجام می‌شد و به‌طور مداوم در حدود ۶-۶/۵ تنظیم می‌شد. گلخانه دارای محدوده دمایی ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و سطح رطوبت آن نیز بین ۶۰ تا ۷۰ درصد بود. برداشت گیاهان و اندازه‌گیری صفات ۲۰ روز پس از شروع تیمار شوری صورت گرفت (۴۲). در این پروژه ویژگی‌های مختلف از جمله ارتفاع اندام هوایی و طول ریشه، وزن‌تر اندام هوایی و ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، میزان کلروفیل (SPAD value) و هم‌چنین شاخص صدمه شوری (Salt injury index) که به‌صورت نمره‌دهی از ۱ تا ۵ (برگ عاری از لکه نکروز عدد ۱ را گرفت و به همین ترتیب تا عدد ۵ که در آن برگ کاملاً خشک شده بود) (۴۲) و سطح برگ موردبررسی قرار گرفت و برای هر صفت در هر تکرار چهار گیاهچه متعلق به یک ژنوتیپ به‌طور کامل اندازه‌گیری شد. و درنهایت با استفاده از نمونه‌های گرفته شده میزان سدیم و پتاسیم ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری و نسبت پتاسیم به سدیم ریشه و اندام هوایی و نسبت جابجایی سدیم و پتاسیم از ریشه به اندام هوایی محاسبه گردید. از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل LI-COR مدل LI-3100C برای

اندازه‌گیری سطح برگ استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در اندام هوایی و ریشه، مرحله اولیه شامل شستشوی گیاهچه‌های برداشت شده با استفاده از آب مقطر بود و پس از جدا کردن آن‌ها، این بخش‌ها سپس در داخل آون به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند. جهت اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر (Corning M410, U.K, 410)، مقدار ۰/۱ گرم از ریشه و اندام هوایی هر ژنوتیپ توسط محلول ۰/۱ مولار اسید استیک به‌مدت ۴ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد تیمار گردید. براساس رابطه داده‌شده زیر نسبت انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی به‌دست آمد.

(۱) میزان سدیم ریشه/میزان سدیم اندام هوایی=RTSN

علاوه بر این، نسبت انتقال پتاسیم از ریشه به ساقه با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

(۲) میزان پتاسیم ریشه/میزان پتاسیم اندام هوایی=RTSK

پس از تجزیه واریانس امی با استفاده از نرم‌افزار Genostat نسخه ۱۲، همبستگی بین صفات با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۵ محاسبه شد، در ادامه تجزیه همبستگی‌های کانونیک با استفاده از نرم‌افزار Statgraphics نسخه ۱۸ انجام گردید و درنهایت به‌منظور انتخاب متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از همه صفات مورد استفاده شاخص SIIG نیز با استفاده از نرم‌افزار اکسل محاسبه گردید (۴۳).

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب برای شناسایی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط: تجزیه واریانس امی نشان داد که ژنوتیپ، محیط و برهمکنش‌های آن‌ها (GEIs) اثر معنی‌داری بر تغییرات وزن‌تر اندام هوایی سویا داشتند (جدول ۱). اثر اصلی ژنوتیپ ۲۶/۲۶ درصد از کل تغییرات را به خود اختصاص داد، درحالی‌که محیط و GEI به‌ترتیب ۶۳/۶ درصد و ۱۰/۱۳ درصد از تغییرات را به خود اختصاص دادند. نتایج نشان داد که

وزن‌تر اندام هوایی به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر تغییرات محیطی و به دنبال آن اثرات GEI و ژنوتیپ‌ها قرار می‌گیرد (جدول ۱). اثرات معنی‌دار محیط و واریانس بالای آن را می‌توان به تفاوت‌های زیاد بین محیط‌های آزمایشی (شوری صفر و شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم) نسبت داد. یک IPCA ۱۰۰ درصد از کل تغییرات در GEI را به خود اختصاص داد. داده‌های این پژوهش نشان داد که تأثیر محیط بر وزن‌تر اندام هوایی بسیار زیاد بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس مرکب ژنوتیپ‌ها.

Table 1. Results of combined variance analysis of genotypes.

منابع تغییرات Source	درجه آزادی df	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	آماره آزمون F	سهم توجیه منابع % Treatments	اثر متقابل ژنوتیپ در محیط % GEIs
کل	179	167.53	0.94	*	*	
تیمار	59	158.28	2.68	**		
ژنوتیپ	29	41.57	1.43	**	26.26	
محیط	1	100.67	100.67	**	63.60	
بلوک	4	0.55	0.14	ns		
اثر متقابل	29	16.04	0.55	**	10.13	
اجزای اصلی اثر متقابل	29	16.04	0.55	**		100
خطا	116	8.7	0.08			

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** are non significant, significant at levels: 5%, 1%, respectively

همبستگی ساده بین صفات: نتایج همبستگی ساده بین صفات نشان داد که وزن خشک و تر اندام هوایی در هر دو شرایط دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با صفات ارتفاع اندام هوایی، طول ریشه، سطح برگ، وزن خشک و تر ریشه و با نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در شرایط تنش بودند (جدول ۲) و

هم‌چنین در شرایط تنش دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با شاخص صدمه شوری و محتوای سدیم ریشه بودند. در پژوهشی همبستگی بین شاخص صدمه شوری با بیوماس گیاهچه منفی و معنی‌دار و هم‌چنین همبستگی وزن‌تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع اندام هوایی، طول ریشه و شاخص سطح برگ

با محتوای کلروفیل برگ مثبت اعلام شده است (۴۴). مطالعه دیگری همبستگی بین میزان کلروفیل با وزن خشک اندام هوایی و وزن کل گیاه را مثبت و همبستگی میزان پتاسیم اندام هوایی، میزان سدیم ریشه و نسبت جابجایی پتاسیم از ریشه به اندام هوایی با میزان کلروفیل را مثبت و معنی‌دار ذکر کرده است (۴۵). همبستگی بین شاخص صدمه شوری و محتوای سدیم اندام هوایی در شرایط تنش شوری معنی‌دار نبود که این بیانگر این مطلب می‌باشد که بعضی از ژنوتیپ‌ها با این‌که تجمع بالایی از سدیم در اندام هوایی خود دارند اما علائم ظاهری کمی از سمیت یون سدیم را در اندام هوایی نشان می‌دهند و این بیانگر بالا بودن تحمل بافتی این ژنوتیپ‌ها می‌باشد (۴۴). همبستگی منفی و ضعیفی بین محتوای سدیم اندام هوایی با وزن‌تر و خشک اندام هوایی و سطح برگ مشاهده شد که نشان‌دهنده اهمیت این یون در تحمل به شوری می‌باشد. هر چند نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی دارای همبستگی مثبتی با وزن‌تر و خشک اندام هوایی و شاخص سطح برگ بود و همبستگی منفی و ضعیفی با شاخص صدمه شوری داشت، این مطلب پیشنهاددهنده این نکته می‌باشد که ژنوتیپ‌های با عملکرد و زیست-توده بالاتر در شرایط تنش شوری لزوماً آن‌هایی نیستند که خارج‌کننده یون سدیم بهتری هستند (۴۴) و بنابراین نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی ممکن است پیشرفت تحمل به شوری در مرحله گیاهچه را تسهیل کند. محتوای سدیم و پتاسیم در اندام هوایی همبستگی‌های غیرمعنی‌دار و ضعیفی با سایر صفات مانند وزن‌تر و خشک، شاخص سطح برگ و ارتفاع اندام هوایی و طول ریشه داشتند این در حالی بود که محتوای سدیم در ریشه همبستگی منفی با صفات

وزن‌تر و خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ و وزن‌خشک‌ریشه داشت و محتوای پتاسیم در ریشه نیز همبستگی معنی‌داری با صفات نام‌برده نداشت، این نتایج پیشنهاد می‌کند که سازوکارهای کنترل شوری در اندام هوایی و ریشه متفاوت از یکدیگر می‌باشند (۴۵). شاخص صدمه شوری دارای همبستگی منفی با همه صفات به‌جز میزان سدیم در اندام هوایی و ریشه بود. محتوای کلروفیل در برگ دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با نسبت جابجایی پتاسیم از ریشه به اندام هوایی و همبستگی منفی با نسبت جابجایی سدیم از ریشه به اندام هوایی بود.

همبستگی کانونیک: تجزیه همبستگی‌های متعارف در شرایط تنش شوری برای مجموعه صفات مرتبط با رشد گیاهچه‌ها در مقابل مجموعه صفات زیست‌شیمیایی به ایجاد یک متغیر غیرهمبسته معنی‌دار انجامید (جدول ۳). اگرچه تعداد ضرایب جفت‌های متعارف با تعداد صفات کوچک‌ترین گروه برابر است، اما در مجموع فقط یک تابع متعارف اول قابل اعتماد می‌باشد که در تفسیر نتایج مورد استفاده قرار گرفت. رابطه بین متغیرهای اصلی و متغیرهای متعارف با ضرایب همبستگی بین متغیرهای متعارف، که معمولاً ضرایب ساختار نامیده می‌شوند، ارزیابی می‌شود (۲۷ و ۲۸). اولین جفت متغیرها با ضریب همبستگی ۰/۸۹ به‌ترتیب متغیرهای "خصوصیات اندام هوایی" و "میزان تجمع سدیم در اندام هوایی و شاخص صدمه شوری" نامیده شدند. بالا بودن این ضریب همبستگی نشان‌دهنده درجه بالایی از ارتباط بین متغیرهای ریخت‌شناسی با صفات زیست‌شیمیایی بود. این متغیر ۷۰ درصد از تغییرپذیری بین متغیرها را توجیه می‌کرد. هرچه ضریب صفت قرارگرفته در یک گروه بالاتر باشد نشان‌دهنده اهمیت این صفت در نتیجه

گرفتن از آن متغیر کانونیک می‌باشد (۴۶). در اولین جفت متغیرهای کانونیک برای صفات مرتبط با رشد گیاهچه، صفات شاخص سطح برگ، وزن‌تر اندام هوایی و ارتفاع اندام هوایی بالاترین ضرایب هم علامت منفی را داشتند و در دسته صفات مرتبط با خصوصیات زیست‌شیمیایی، صفات شاخص صدمه شوری و مقدار سدیم اندام هوایی بالاترین ضرایب هم علامت مثبت را دارا بود؛ بنابراین اولین جفت از متغیرهای کانونیک نشان داد گیاهان سویای که دارای بیش‌ترین سطح برگ، وزن‌تر اندام هوایی و ارتفاع اندام هوایی در شرایط تنش شوری هستند به‌طور معنی‌داری شاخص صدمه شوری و محتوای سدیم کم‌تری در اندام هوایی خود داشته‌اند. بنابراین در مرحله گیاهچه برای داشتن گیاهانی که صدمه شوری کم‌تری دیده باشند و تجمع سدیم در اندام هوایی آن‌ها پایین‌تر باشد باید ژنوتیپ‌هایی با شاخص سطح برگ بالاتر، وزن‌تر اندام هوایی بالاتر و ارتفاع اندام هوایی بیش‌تر انتخاب شوند. متغیرهای $U1$ در اولین جفت متغیرهای کانونیک با تمام متغیرهای مرتبط با خصوصیات شیمیایی همبستگی مثبت داشتند به‌جز مقدار پتاسیم در اندام هوایی. متغیر کانونیک $U1$ همبستگی زیادی با شاخص سطح برگ و وزن‌تر اندام هوایی وجود داشت. هم‌چنین متغیر کانونیک $V1$ همبستگی زیادی با میزان سدیم اندام هوایی و شاخص صدمه شوری داشت. بنابراین شناسایی صفات مرتبط با رشد گیاه (ارتفاع اندام هوایی، وزن‌تر اندام هوایی و شاخص سطح برگ) که نویددهنده برای بهبود تحمل به شوری در سویا باشند با این

روش امکان پذیر شد، زیرا آن‌ها برایند کیفی از صفات زیست‌شیمیایی می‌باشند. در مطالعه‌ای با استفاده از تجزیه همبستگی کانونیک ۵۸ ژنوتیپ ذرت از لحاظ صفات فنولوژیکی، ریخت‌شناسی، عملکردی و صفات تغذیه‌ای و کیفیت انرژی دانه موردبررسی قرار گرفتند و تأیید شد که صفات فنولوژیکی، موفولوژیکی و عملکردی را می‌توان برای انتخاب غیرمستقیم به‌عنوان شاخصی از افزایش کیفیت انرژی و تغذیه‌ای در دانه‌های ذرت استفاده کرد (۴۷). شکل ۱ موقعیت ژنوتیپ‌های موردبررسی را در نمودار متغیرهای متعارف اول نشان می‌دهند. کاربرد این شکل در گزینش ژنوتیپ‌ها برای چند صفت به‌طور هم‌زمان است. به‌عنوان مثال اگر پژوهش‌گری بخواهد به دنبال ژنوتیپی باشد که دارای شاخص سطح برگ بالا، وزن‌تر اندام هوایی بالا و ارتفاع اندام هوایی بالا باشد و از طرف دیگر دارای شاخص صدمه شوری پایین و مقدار سدیم در اندام هوایی پایین نیز باشد می‌تواند به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱، ۱۱، ۱۳، ۴ و ۲۵ را انتخاب نماید. ژنوتیپ‌های نام‌برده در گروه ژنوتیپ‌های متحمل به شوری قرار می‌گیرند. از طرف دیگر ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۱۰، ۱۸، ۲۹ و ۲۰ با توجه به داشتن بالاترین مقدار سدیم در اندام هوایی و بالا بودن شاخص صدمه شوری در آن‌ها و از طرف دیگر داشتن شاخص سطح برگ پایین به همراه وزن‌تر پایین اندام هوایی و ارتفاع کم اندام هوایی در گروه ژنوتیپ‌های حساس به شوری دسته‌بندی می‌گردند.

جدول ۲ - جدول همبستگی صفات مختلف (بالا شرایط نرمال و پایین شرایط تنش).

Table 2. Correlation coefficient of different traits (above is normal condition and below is stress condition).

RTSK	RTSN	RKN	SKN	RKC	RNC	SKC	SNC	RDW	SDW	LA	SII	RFW	RL	SFW	CHL	SH	
0.22	-0.11	0.04	0.29	0.10	-0.09	0.19	-0.21	0.56**	0.68**	0.59**	-0.49**	0.52**	0.21	0.75**	-0.10		ارتفاع اندام هوایی (SH)
0.20	0.14	0.15	0.18	0.14	-0.20	0.21	-0.05	0.42*	0.39*	0.33	-0.39	0.46*	0.32	0.33			محتوای کلروفیل (CHL)
0.07	-0.08	0.09	0.24	0.27	-0.02	0.22	-0.10	0.85**	0.90**	0.87**	-0.52*	0.82**	0.49**		0.15		وزن تر اندام هوایی (SFW)
-0.23	0.26	0.05	-0.25	0.02	-0.11	-0.12	0.26	0.66**	0.40*	0.42*	-0.26	0.67**		0.51**	0.28		طول ریشه (RL)
-0.03	-0.03	-0.01	0.10	0.04	-0.05	0.01	-0.08	0.93**	0.80**	0.69**	-0.58**		0.65**	0.71**	0.39*		وزن تر ریشه (RFW)
-0.12	-0.10	-0.13	-0.12	-0.09	0.22	-0.14	0.06	-0.52*	-0.56**	-0.43*		-0.51**	-0.28	-0.73**	-0.30		شاخص صدمه شوری (SII)
0.05	0.06	0.07	0.05	0.20	-0.06	0.16	0.11	0.79**	0.91**		-0.82**	0.63**	0.38*	0.87**	0.24		سطح برگ (LA)
0.14	0.07	0.12	0.15	0.15	-0.13	0.18	-0.01	0.84**		0.77**	-0.52**	0.55**	0.42*	0.82**	0.16		وزن خشک اندام هوایی (SDW)
-0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	-0.10	0.01	-0.01		0.62**	0.70**	-0.57**	0.72**	0.45*	0.74**	0.23		وزن خشک ریشه (RDW)
0.10	0.52**	-0.13	-0.66**	-0.09	0.10	0.00		-0.16	-0.20	-0.28	0.13	0.04	0.13	-0.29	0.23	-0.03	میزان سدیم اندام هوایی (SNC)
0.78**	0.31	0.67**	0.74**	0.84**	-0.36*		0.51**	-0.01	0.04	-0.02	0.05	0.20	0.18	-0.02	0.44*	0.22	میزان پتاسیم اندام هوایی (SKC)
-0.31	-0.77**	-0.84**	-0.25	-0.28		0.63**	0.57**	-0.32	-0.35	-0.37	0.33	0.02	0.02	-0.40*	0.40	-0.09	میزان سدیم ریشه (RNC)
0.32	0.19	0.69**	0.68**		-0.02	0.02	-0.26	-0.05	-0.18	0.00	-0.08	-0.13	-0.16	-0.06	-0.14	-0.09	میزان پتاسیم ریشه (RKC)
0.51**	-0.18	0.52**		0.28	-0.71**	0.35	-0.81**	0.11	0.40*	0.40*	-0.05	0.09	-0.02	0.41**	0.04	0.11	نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی (SKN)
0.36	0.67**		0.62**	0.50**	-0.93**	-0.60**	-0.65**	0.26	0.27	0.34	-0.33	-0.05	-0.09	0.36	-0.41*	0.06	نسبت پتاسیم به سدیم ریشه (RKN)
0.32		0.26	-0.31	-0.22	-0.27	-0.23	0.31	0.16	0.18	0.12	-0.23	0.00	0.02	0.13	-0.16	0.08	نسبت جابجایی سدیم از ریشه به اندام هوایی (RTSN)
	-0.28	-0.59**	0.15	-0.51**	0.44*	0.85**	0.50**	0.03	0.14	0.00	0.07	0.26	0.25	0.03	0.45*	0.25	نسبت جابجایی پتاسیم از ریشه به اندام هوایی (RTSK)

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns، * and ** are non significant, significant at levels: 5%, 1%, respectively

Shoot height (SH): ارتفاع اندام هوایی، Chlorophyll content (CHL): محتوای کلروفیل، Shoot fresh weight (SFW): وزن تر اندام هوایی، Root length (RL): طول ریشه، Shoots Na content (SNC): میزان سدیم اندام هوایی، Shoots K content (SKC): میزان پتاسیم اندام هوایی، Shoots K/Na ratio (SKN): نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی، Shoots K content (SKC): میزان پتاسیم ریشه، Root dry weight (RDW): وزن خشک اندام هوایی، Root K content (RKC): میزان پتاسیم ریشه، Root K/Na ratio (RKN): نسبت پتاسیم به سدیم ریشه، Root to shoot Na translocation (RTSN): نسبت جابجایی سدیم از ریشه به اندام هوایی، Root to shoot K translocation (RTSK): نسبت جابجایی پتاسیم از ریشه به اندام هوایی

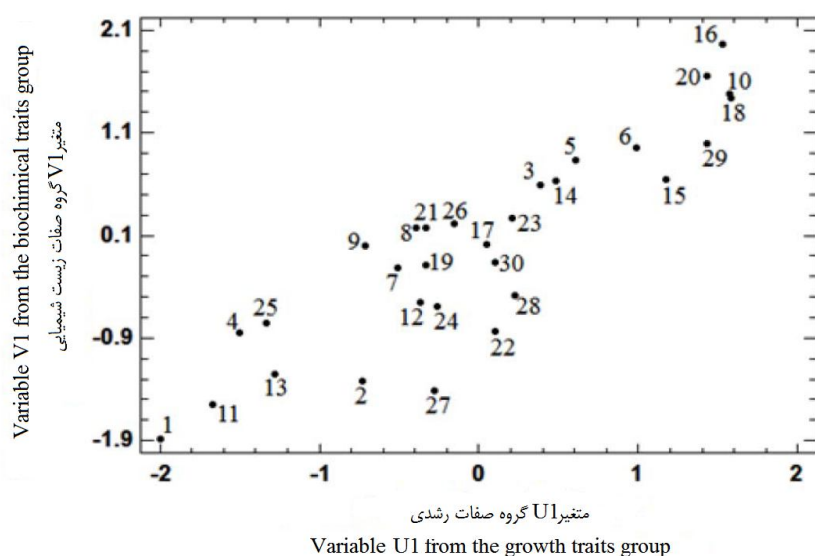
جدول ۳- ضرایب همبستگی کانونیک مجموعه صفات مرتبط با رشد گیاهچه در مقابل مجموعه صفات زیست شیمیایی.

Table 3. Canonical correlation coefficients of set of traits related to seedling growth versus biochemical traits.

V1	Traits related to biochemical characteristics	صفات مرتبط به خصوصیات زیست شیمیایی	U1	Traits related to plant morphology and growth	صفات مرتبط با ریخت شناسی و رشد گیاه
0.000	Chlorophyll content	محتوای کلروفیل	-0.246	Shoot hight	ارتفاع اندام هوایی
0.941	salt injury index	شاخص صدمه شوری	-0.416	Shoot fresh weight	وزن تر اندام هوایی
0.245	shoots sodium content	میزان سدیم اندام هوایی	0.054	Root length	طول ریشه
-0.087	shoots potassium content	میزان پتاسیم اندام هوایی	0.208	Root fresh weight	وزن تر ریشه
0.028	Roots sodium content	میزان سدیم ریشه	-0.852	leaf area	شاخص سطح برگ
0.077	Roots potassium content	میزان پتاسیم ریشه	0.389	Shoot dry weight	وزن خشک اندام هوایی
			-0.021	Root dry weight	وزن خشک ریشه
		3.89		Eigenvalue	مقدار ویژه
		0.89		Cananonical correlation (r)	همبستگی متعارف
		42		Degree of freedom (GL)	درجه آزادی
		61.25		X ²	مقدار کای اسکوتر
		0.7		Cumulative ratio of variance	مقدار تجمعی واریانس

ژنوتیپ از نظر بیش تر صفات مورد بررسی از وضعیت مطلوب تری برخوردار می باشد و هرچه مقدار SIIG برای ژنوتیپی به صفر نزدیک باشد، ژنوتیپ مورد بررسی از نظر بیش تر صفات از وضعیت مطلوبی برخوردار نیست. درواقع شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل (SIIG) یک مدل گزینش گر بوده و به منظور انتخاب ایده آل ترین ژنوتیپ (ها) از بین ژنوتیپ های مورد بررسی به کار می رود و با استفاده از این شاخص پژوهش گر تصمیم نهایی را در انتخاب بهترین و ضعیف ترین ژنوتیپ ها از نظر صفات مورد مطالعه می گیرد (۳۳ و ۳۴). بر اساس شاخص SIIG، ژنوتیپ های ۱، ۲، ۴، ۲۵، ۱۳ و ۱۱ (به ترتیب Lee، Vernal، LYON، 1504، Crawford و Douglas) با مقدار SIIG بیش تر جزء ژنوتیپ های برتر بودند (جدول ۴). از طرفی ژنوتیپ های شماره ۲۰، ۱۸، ۱۶، ۱۴، ۱۵، ۱۰ و ۲۹ (به ترتیب Dobradzanka 285، Croton 3.9، Perry، Ito san، NE3400، Yale و Tzi - Hua - N4) با مقدار SIIG کم تر جزء ژنوتیپ های ضعیف از نظر اکثریت صفات مورد بررسی بودند (جدول ۴).

شاخص SIIG: در این پژوهش به منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ ها با استفاده از تمام صفات مورد بررسی در شرایط تنش از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده آل (SIIG) استفاده شد. شاخص SIIG بر مبنای ۱۶ صفت (به جز وزن تر اندام هوایی) محاسبه شد (جدول ۴). در محاسبه شاخص SIIG فرض بر این بود که ژنوتیپ هایی با بیش ترین ارتفاع اندام هوایی، محتوای کلروفیل، طول ریشه، وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، شاخص سطح برگ، میزان پتاسیم اندام هوایی و ریشه، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و ریشه و نسبت انتقال پتاسیم از ریشه به اندام هوایی و از طرف دیگر دارای کم ترین شاخص صدمه شوری، میزان سدیم اندام هوایی و ریشه و نسبت انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی ایده آل می باشند. درواقع با استفاده از شاخص SIIG، صفات مذکور ادغام شده و به صورت یک شاخص واحد در آمده و در نتیجه می توان انتخاب ژنوتیپ های برتر را مطمئن تر و دقیق تر انجام داد. از آنجایی که که میزان تغییرات شاخص SIIG بین صفر و یک تغییر می باشد، هرچه مقدار SIIG برای ژنوتیپی به یک نزدیک باشد آن



شکل ۱- موقعیت ژنوتیپ‌های مورد بررسی در نمودار متغیرهای متعارف اول.

Fig. 1. The position of the examined genotypes in the diagram of the first canonical variables.

هرچه صفتی دارای تنوع فنوتیپی بیشتری باشد نقش آن در مقدار عددی شاخص SIIG بیشتر خواهد بود. در صورتی که در پژوهشی تعداد صفات مورد بررسی زیاد باشد برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و صفات مطلوب بهتر است شاخص SIIG بر مبنای همه صفات به‌جز عملکرد محاسبه شود و در نهایت انتخاب ژنوتیپ‌ها در یک نمودار دو بعدی که یک محور آن شاخص SIIG و محور دیگر آن عملکرد است صورت گیرد (۳۶ و ۴۸). بر این اساس به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌هایی که هم از نظر شاخص SIIG و هم وزن‌تر اندام هوایی در وضعیت مطلوبی باشند، از نمودار دوبعدی (شکل ۲) استفاده شد. با توجه به نتایج نمودار دوبعدی، ژنوتیپ‌های ۱، ۱۱، ۴، ۲۵ و ۱۳ (به ترتیب Lee, Douglas, LYON, 1504 و Crawford) با داشتن مقدار SIIG بالا و هم‌چنین وزن‌تر اندام هوایی بالاتر از میانگین کل، جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظر وزن‌تر اندام هوایی و شاخص SIIG بودند و می‌توان آن‌ها را در گروه ژنوتیپ‌های متحمل به شوری به‌شمار آورد. از طرفی دیگر ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۰، ۱۸، ۲۹ و ۲۰ (به ترتیب Perry, Croton 3.9, Yale, Tzi - Hua - N4 و

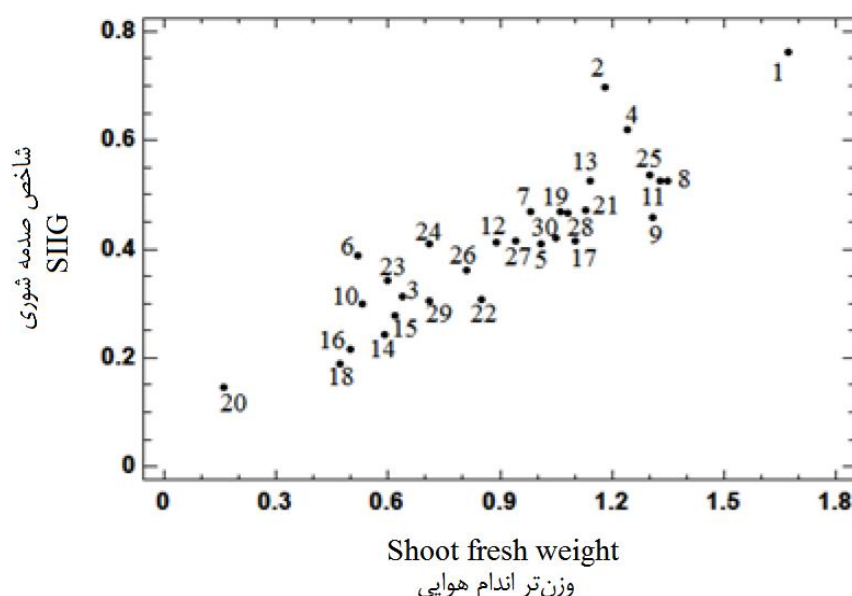
Dobradzanka 285) با مقدار SIIG پایین و هم‌چنین وزن‌تر اندام هوایی کمتر از میانگین کل، به‌عنوان ژنوتیپ‌های ضعیف از نظر وزن‌تر اندام هوایی و شاخص SIIG شناسایی شدند و می‌توان آن‌ها را در گروه ژنوتیپ‌های حساس به شوری به‌شمار آورد (شکل ۲). در مطالعه‌ای صفات زراعی مختلف کلزا با استفاده از شاخص SIIG ادغام و گزارش شد که شاخص SIIG با ادغام صفات مختلف، انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب را مؤثرتر انجام می‌دهد (۳۵). در پژوهش دیگری نیز از شاخص SIIG به‌منظور ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری کلزا استفاده شد و نتیجه‌گیری شد که شاخص SIIG روشی مناسب به‌منظور ادغام صفات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و هم‌چنین سایر روش‌های تجزیه پایداری می‌باشد (۳۴). در مطالعات دیگر نیز از شاخص SIIG به‌منظور ادغام صفات زراعی یا شاخص‌های محاسبه شده استفاده شده و بیان شد که شاخص SIIG یک روش ترکیبی جدید و کارا در انتخاب مؤثرتر ژنوتیپ‌های مطلوب می‌باشد (۴۹، ۵۰ و ۵۱). شاخص SIIG به‌منظور انتخاب ارقام و لاین‌های پایدار از نظر آماره‌های مختلف پایداری در گندم دوروم (۳۶) نیز

مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین در مطالعه‌ای از شاخص SIIG برای دسته‌بندی و انتخاب برترین لاین‌های جو با استفاده از تعدادی از صفات مورفولوژیک استفاده شد و روش SIIG را در دسته‌بندی و تعیین فاصله بین لاین‌ها مؤثر دانستند (۳۷). اگر به نتایج حاصل از نمودار SIIG و تجزیه کانونیک نگاه کنیم متوجه می‌شویم که نتایج آن‌ها مشابهت فراوانی در تفکیک ژنوتیپ‌ها داشته و به وسیله آن‌ها می‌توان ژنوتیپ‌ها را به دو دسته متحمل و حساس تقسیم‌بندی نمود که ژنوتیپ‌های یکسانی در آن دو گروه قرار می‌گیرند. از ویژگی‌های شاخص SIIG، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از قوی به ضعیف و تعیین فاصله آن‌ها است (۵۲). پژوهش‌گران مختلفی انطباق نتایج شاخص SIIG با نتایج تجزیه خوشه‌ای (۳۷ و ۵۱) و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (۵۲) را گزارش نموده‌اند.

جدول ۴- شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل سویا بر مبنای همه صفات مورد مطالعه و فواصل از ژنوتیپ مطلوب (d^+) و ژنوتیپ نامطلوب (d^-).

Table 4. Selection index of the ideal soybean genotype based on all studied traits and distances from the favorable genotype (d^+) and unfavorable genotype (d^-).

شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	فاصله از ژنوتیپ مطلوب	فاصله از ژنوتیپ نامطلوب	شاخص SIIG
Genotype number	Genotypes name	d^+	d^-	SIIG index
1	Lee	0.203	0.645	0.761
2	Vernal	0.262	0.604	0.697
3	Kosamam	0.532	0.241	0.312
4	LYON	0.296	0.484	0.620
5	Roanoke	0.454	0.313	0.408
6	Cook	0.540	0.343	0.389
7	Colfax	0.428	0.379	0.469
8	Winchester	0.367	0.404	0.524
9	Will	0.422	0.357	0.459
10	Yale	0.550	0.236	0.300
11	Douglas	0.413	0.455	0.524
12	Clifford	0.464	0.324	0.411
13	Crawford	0.389	0.429	0.524
14	Ito san	0.593	0.190	0.242
15	NE3400	0.569	0.218	0.277
16	Perry	0.633	0.174	0.216
17	Strong	0.452	0.319	0.414
18	Croton 3.9	0.653	0.151	0.188
19	Zane	0.395	0.351	0.470
20	Dobradzanka 285	0.694	0.119	0.146
21	L.87-0174	0.425	0.379	0.472
22	Richland	0.569	0.252	0.307
23	Kosar	0.501	0.261	0.343
24	Katool	0.454	0.314	0.409
25	I504	0.386	0.444	0.535
26	Pharaoh	0.511	0.289	0.361
27	Korona B-57-54/41	0.480	0.339	0.414
28	Century 84	0.414	0.362	0.467
29	Tzi - Hua - N4	0.546	0.238	0.304
30	Troll	0.462	0.336	0.421



شکل ۲- نمودار دوعبده‌ای پراکنش ۳۰ ژنوتیپ سویا بر اساس وزن تر اندام هوایی و شاخص SIIG.

Fig. 2. Distribution of 30 soybean genotypes based on shoot fresh weight and SIIG index.

هر دو گروه ژنوتیپ‌های حساس و متحمل بودیم اما این مقدار کاهش در ژنوتیپ‌های متحمل کم‌تر از ژنوتیپ‌های حساس بود. در پژوهشی پیشنهاد شده است که رشد اندام هوایی یکی از مشخصه‌های مهم برای غربال گیاهان مقاوم به شوری در مرحله گیاهچه می‌باشد (۵۳). کاهش ارتفاع اندام هوایی و ریشه به‌واسطه تنش شوری توسط پژوهش‌گران زیادی در محصولات مختلف گزارش شده است ازجمله در سویا (۵۴ و ۵۵). مطالعات دیگری نیز کاهش در وزن خشک برگ‌ها را به‌واسطه تنش شوری مشاهده نمودند (۵۳ و ۵۶). توسعه سلولی برگ‌ها در تنش شوری کاهش یافته که این به دلیل پایین آمدن فشار پروتوپلاسم بوده و در نتیجه سطح برگ کاهش می‌یابد. کاهش وزن خشک ساقه به‌واسطه تنش شوری توسط پژوهش‌گران زیادی در محصولات مختلف گزارش شده است ازجمله در سویا (۵۴). شوری هم‌چنین باعث کاهش توده ریشه می‌شود. شوری باعث کاهش تعداد برگ، سطح برگ و وزن خشک برگ‌ها می‌شود

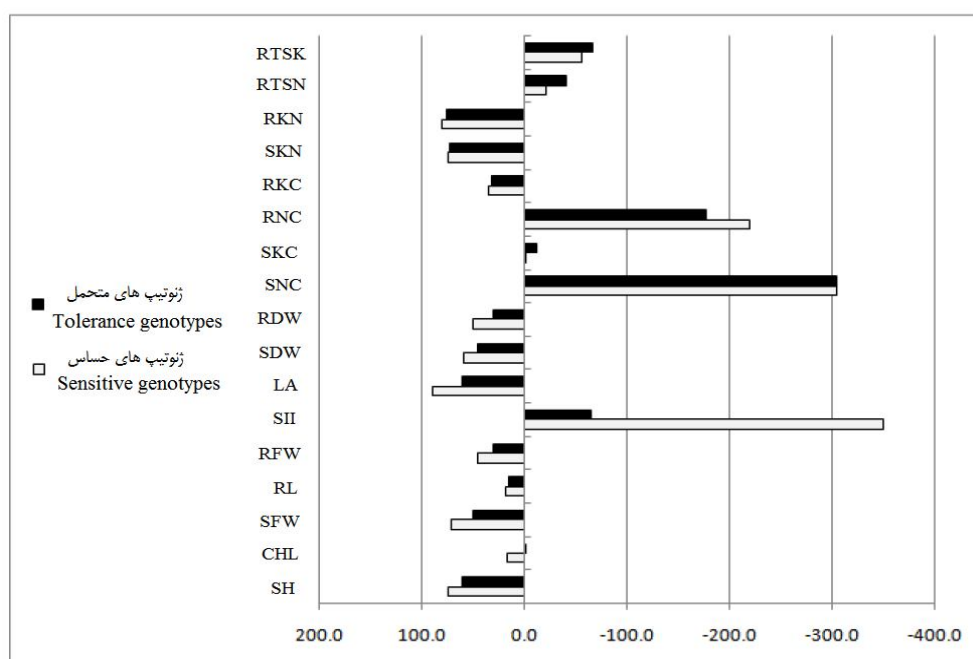
به‌منظور درک تفاوت دو گروه متحمل و حساس به شوری شناسایی شده توسط تجزیه همبستگی‌های کانونیک و شاخص SIIG، تفاوت صفات اندازه‌گیری شده در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال در دو گروه برحسب درصد با یکدیگر مقایسه شد که در شکل ۳ آورده شده است. گروه متحمل شامل ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۱۱، ۴، ۲۵ و ۱۳ (به ترتیب Lee، Douglas، LYON، 1504 و Crawford) بود و گروه حساس شامل ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۰، ۱۸، ۲۹ و ۲۰ (به ترتیب Perry، Yale، Croton 3.9، Tzi - Hua - N4 و Dobradzanka 285) بود. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود به‌جز صفت محتوای کلروفیل در بقیه صفات واکنش ژنوتیپ‌های متحمل و حساس یکسان بوده است. در صفات ارتفاع اندام هوایی، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، طول ریشه، سطح برگ، محتوای پتاسیم در ریشه، نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی و ریشه شاهد کاهش مقدار صفت در شرایط تنش نسبت به نرمال در

که در نتیجه این موارد شاهد کاهش عملکرد خواهیم بود (۵۷). گزارش شده است که تحت تنش شوری یون پتاسیم در ریشه کاهش نشان می‌دهد (۵۸). همچنین گزارش شده است که اندام هوایی ارقام متحمل به شوری دارای نسبت سدیم به پتاسیم پایین‌تری نسبت به ارقام حساس می‌باشد (۵۹). همان‌طور که مشاهده می‌شود طول ریشه‌ها نسبت به ارتفاع اندام هوایی کاهش کم‌تری را هم در ژنوتیپ‌های حساس و هم متحمل نشان می‌دهد. در مورد سویا مشاهده شده که تغییرات اندازه اندام هوایی نسبت به شوری در مقایسه با ریشه‌ها بیش‌تر است و به نظر می‌رسد ریشه‌ها به شوری تحمل بیش‌تری نشان می‌دهند (۶۰).

از طرف دیگر در صفات شاخص صدمه شوری، محتوای سدیم اندام هوایی و ریشه، محتوای پتاسیم اندام هوایی، نسبت جابه‌جایی سدیم از ریشه به اندام هوایی و نسبت جابه‌جایی پتاسیم از ریشه به اندام هوایی شاهد افزایش مقدار صفت در شرایط تنش نسبت به نرمال در هر دو گروه ژنوتیپ‌های حساس و متحمل بودیم. مقدار افزایش صفات شاخص صدمه شوری، محتوای سدیم در اندام هوایی و ریشه در ژنوتیپ‌های حساس بیش‌تر از ژنوتیپ‌های متحمل بود. اثرات مضر شوری بر روی سلامت برگ‌ها توسط پژوهش‌گران زیادی از جمله در سویا گزارش شده است (۱۱). اثرات تنش اسمزی (۶۱) و یا اثرات سمیت یون‌ها (۶۲) می‌توانند مسئول صدمات شوری

باشند. گزارش شده است که تحت تنش شوری میزان یون سدیم در ساقه و برگ افزایش یافته است و در ژنوتیپ‌های حساس‌تر این افزایش بیش‌تر بوده است که این مطلب در سویا (۶۴) نیز گزارش شده است (۶۳ و ۶۵). همچنین گزارش شده است که یون سدیم تحت تنش شوری در ریشه افزایش نشان می‌دهد (۵۸). همچنین مقدار افزایش صفات محتوای پتاسیم اندام هوایی، نسبت جابه‌جایی سدیم و پتاسیم از ریشه به اندام هوایی در ژنوتیپ‌های متحمل بیش‌تر از ژنوتیپ‌های حساس بود. در صفت محتوای کلروفیل ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط تنش نسبت به نرمال محتوای کلروفیل بیش‌تری داشتند ولی در ژنوتیپ‌های گروه حساس شاهد کاهش محتوای کلروفیل بودیم. پژوهش‌گران دیگری نیز افزایش کلروفیل را گزارش کرده‌اند (۴۵). تحقیقات روی سویا بیانگر تأثیرپذیری محتوای کلروفیل این گیاه از تنش شوری است و ارقام متحمل سویا در سطوح بالای شوری دارای سطوح بیش‌تری از کلروفیل در مقایسه با ارقام حساس می‌باشند (۶۶).

همان‌طور که مشاهده می‌شود صفات محتوای کلروفیل، طول ریشه و محتوای پتاسیم اندام هوایی کم‌ترین تأثیر را از شوری داشتند و صفات شاخص صدمه شوری، میزان سدیم اندام هوایی، میزان سدیم ریشه و شاخص سطح برگ بیش‌ترین تأثیر را از شوری داشتند. این نتایج با نتایج پژوهش‌گران دیگر مشابَهت زیادی داشت (۶۷).



شکل ۳- تفاوت صفات اندازه‌گیری شده دو گروه متحمل و حساس به شوری شناسایی شده توسط تجزیه همبستگی‌های کانونیک و شاخص SIIG.

Fig. 3. The difference between the measured traits of the two groups tolerant and sensitive to salinity identified by canonical correlation analysis and SIIG index.

SH: ارتفاع اندام هوایی، CHL: محتوای کلروفیل، SFW: وزن تر اندام هوایی، RL: طول ریشه، RFW: وزن تر ریشه، SII: شاخص صدمه شوری، LA: سطح برگ، SDW: وزن خشک اندام هوایی، RDW: وزن خشک ریشه، SNC: میزان سدیم اندام هوایی، SKC: میزان پتاسیم اندام هوایی، RNC: میزان سدیم ریشه، RKC: میزان پتاسیم ریشه، SKN: نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی، RKN: نسبت پتاسیم به سدیم ریشه، RTSN: نسبت جابجایی سدیم به اندام هوایی، RTSK: نسبت جابجایی پتاسیم از ریشه به اندام هوایی

نتیجه‌گیری

هدف از مطالعه حاضر کمک به اصلاح‌گران سویا برای درک بهتر وابستگی خطی بین صفات مرتبط با رشد گیاهچه و صفات زیست‌شیمیایی مرحله گیاهچه‌ای سویا برای تحمل به تنش شوری بود، زیرا مطالعات کافی در این زمینه تحقیقاتی وجود ندارد. تجزیه و تحلیل همبستگی متعارف استنباط کارآمدتری در مورد روابط بین صفات مرتبط با رشد گیاهچه و صفات زیست‌شیمیایی گیاهچه‌های سویا ارائه داد و نشان داد که این صفات مستقل نیستند. در شرایط شوری گیاهچه‌های بلندتر، با سطح برگ بیشتر و وزن تر اندام هوایی بیشتر اغلب با شاخص صدمه شوری کمتر و میزان سدیم کمتری در اندام هوایی

همراه هستند و این ژنوتیپ‌ها جز ژنوتیپ‌های متحمل به شوری به شمار می‌آیند. نتایج نشان داد که هم ژنوتیپ و هم محیط، همراه با برهمکنش‌هایشان، به‌طور معنی‌داری بر صفاتی مانند وزن تر اندام هوایی سویا تأثیر می‌گذارند، که نشان می‌دهد واکنش‌های گیاه چندوجهی است و می‌تواند تحت تأثیر نیروهای مختلف باشد. این مطالعه با شناسایی ژنوتیپ‌هایی که متحمل به شوری می‌باشند، شاخص‌های انتخاب بالقوه برای اصلاح محصولات متحمل به شوری را که نیازی حیاتی در مواجهه با تغییرات محیطی جهانی است، شناسایی نمود. استفاده از ابزارهای آماری پیچیده مانند تجزیه و تحلیل همبستگی متعارف و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) درک ما را از

طریق به انتخاب ژنوتیپ‌های برتر که قادر به حفظ عملکرد و کیفیت در شرایط تنش هستند کمک می‌کند. با نگاهی به آینده، این یافته‌ها می‌توانند نقشی اساسی در هدایت مسیرهای تحقیقاتی آینده باهدف افزایش تحمل به شوری در گیاهان داشته باشند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بر اساس نتایج حاصل از اجرای پروژه مصوب به شماره ۹۵۱۴۸-۰۳-۰۳-۰۳ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر است. بدین‌وسیله از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر به خاطر تأمین هزینه‌های اجرای این پروژه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

روابط بین صفات ریخت‌شناسی و زیست‌شیمیایی افزایش داده است و امکان انتخاب دقیق‌تر و مؤثرتر ژنوتیپ‌های برتر را فراهم می‌کند. مطابقت یافته‌های SIIG با نتایج حاصل از سایر روش‌های تحلیلی، مانند آنالیز همبستگی متعارف و تجزیه خوشه‌ای، اعتبار بیشتری به کاربرد آن به‌عنوان یک ابزار دقیق و قابل اعتماد در انتخاب ژنوتیپ می‌دهد. توافق نسبی میان روش‌های ارزیابی مختلف در مورد تحمل به شوری و صفات مرتبط، راه را برای اتخاذ تدابیر اصلاحی هدفمندتر هموار می‌کند. این پژوهش با تمایز بین ژنوتیپ‌های متحمل به شوری و حساس به شوری، به روشن شدن صفات متأثر از شوری مانند ویژگی‌های رشد و محتوای یون کمک کرد و از این

منابع

1. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *The Annual Review of Plant Biology*. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59 (1), 651-681.
2. McWilliams, D. A., Berglund, D. R., & Endres, G. J. (1999). Soybean growth and management quick guide. North Dakota State University. University of Minnesota.
3. Food and Agriculture Data FAOSTAT. (2015). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/FAO&IPTS>.
4. Pasternak, D. (1987). Salt tolerance and crop production—a comprehensive approach. *Annual review of phytopathology*, 25 (1), 271-291.
5. Wang, D., & Shannon, M. C. (1999). Emergence and seedling growth of soybean cultivars and maturity groups under salinity. *Plant and soil*, 214, 117-124.
6. Sun, Y., Mu, C., Zheng, H., Lu, S., Zhang, H., Zhang, X., & Liu, X. (2018). Exogenous Pi supplementation improved the salt tolerance of maize (*Zea mays* L.) by promoting Na⁺ exclusion. *Scientific reports*, 8 (1), 16203.
7. Singleton, P. W., & Bohlool, B. B. (1984). Effect of salinity on nodule formation by soybean. *Plant Physiology*, 74 (1), 72-76.
8. Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International journal of genomics*, 2014 (1), 701596.
9. Abbasdokht, H. (2011). The effect of hydropriming and halopriming on germination and early growth stage of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Desert*, 16 (1): 61-68.
10. White, P. J., & Broadley, M. R. (2001). Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. *Annals of botany*, 88 (6), 967-988.
11. Lee, G. J., Boerma, H. R., Villagarcia, M. R., Zhou, X., Carter, T. E., Li, Z., & Gibbs, M. (2004). A major QTL conditioning salt tolerance in S-100 soybean and descendent cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, 109, 1610-1619.
12. Hosseini, M. K., Powell, A. A., & Bingham, I. J. (2002). Comparison of

- the seed germination and early seedling growth of soybean in saline conditions. *Seed Science Research*, 12 (3), 165-172.
13. Ashraf, M., McNeilly, T., & Bradshaw, A. D. (1986). The potential for evolution of salt (NaCl) tolerance in seven grass species. *New Phytologist*, 103 (2), 299-309.
 14. Do, T. D., Chen, H., Hien, V. T. T., Hamwieh, A., Yamada, T., Sato, T., ... & Xu, D. (2016). Ncl synchronously regulates Na⁺, K⁺ and Cl⁻ in soybean and greatly increases the grain yield in saline field conditions. *Scientific Reports*, 6 (1), 19147.
 15. Pavli, O. I., Foti, C., Skoufogianni, G., Karastergiou, G., Panagou, A., & Khah, E. M. (2021). Effect of salinity on seed germination and seedling development of soybean genotypes. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 27 (2): 1-9.
 16. Fooland, M. R., & Jones, R. A. (1991). Genetic analysis of salt tolerance during germination in *Lycopersicon*. *Theoretical and Applied Genetics*, 81, 321-326.
 17. Guffy, R. D., Hesketh, J. D., Nelson, R. L., & Bernard, R. L. (1991). Seed growth rate, growth duration, and yield in soybean. *Biotronics*, 20, 19-30.
 18. Ebone, L. A., Caverzan, A., Tagliari, A., Chiomento, J. L. T., Silveira, D. C., & Chavarria, G. (2020). Soybean seed vigor: Uniformity and growth as key factors to improve yield. *Agronomy*, 10 (4), 545.
 19. Allen, S. G., Dobrenz, A. K., & Bartels, P. G. (1986). Physiological Response of Salt-Tolerant and Nontolerant Alfalfa to Salinity during Germination 1. *Crop Science*, 26 (5), 1004-1008.
 20. Hussain, T., Iqbal, A., Amir, I., & Swati, Z. A. (2013). Chlorophyll-based screening for salinity tolerance in wheat genotypes. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 8 (8), 596-598.
 21. Valencia, R., Chen, P., Ishibashi, T., & Conatser, M. (2008). A rapid and effective method for screening salt tolerance in soybean. *Crop science*, 48 (5), 1773-1779.
 22. Lee, J. D., Smothers, S. L., Dunn, D., Villagarcia, M., Shumway, C. R., Carter Jr, T. E., & Shannon, J. G. (2008). Evaluation of a simple method to screen soybean genotypes for salt tolerance. *Crop science*, 48 (6), 2194-2200.
 23. Witten, D. M., & Tibshirani, R. J. (2009). Extensions of sparse canonical correlation analysis with applications to genomic data. *Statistical applications in genetics and molecular biology*, 8 (1), 1-27.
 24. Trugilho, P. F., Lima, J. T., & Mori, F. A. (2003). Canonical correlation of physical and chemical characteristics of the wood of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* clones. *Cerne*, 9 (1), 081-091.
 25. Cruz, C. D., Regazzi, A. J., & Carneiro, P. C. S. (2012). Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético vegetal. Viçosa: Editora da UFV.
 26. da Silva, J. W., Soares, L., Ferreira, P. V., da Silva, P. P., & da Silva, M. J. C. (2007). Correlações canônicas de características agroindustriais em cana-de-açúcar. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 29 (3), 345-349.
 27. Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2002). Applied multivariate statistical analysis. 5th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
 28. Khattree, R., & Naik, D. N. (2000). Multivariate data reduction and discrimination. *SAS Institute, Cary, North Carolina*.
 29. Thompson, B. (1991). A primer on the logic and use of canonical correlation analysis. *Measurement and evaluation in counseling and development*, 24, 80-95.
 30. Santos, C. A. F., Cavalcanti, J., Paini, J. N., & Cruz, C. D. (1994). Canonical correlations between primary and secondary components in the grains yield of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). *Revista Ceres* (Brazil), 41 (236), 469-464.
 31. Pereira, E. M., Silva, F. M., Val, B. H. P., Neto, A. P., Mauro, A. O., Martins, C. C., & Unêda-Trevisoli, S. H.

- (2017). Canonical correlations between agronomic traits and seed physiological quality in segregating soybean populations. *Genetics and molecular research*, 16 (2).
32. Carvalho, I. R. (2021). Interrelations of climatological and physiological attributes and components of soybean seeds yield. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 11 (1), 173-184.
33. Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asgharii, A., & Hoseini, S. M. (2015). Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *In Biological Forum*, 7 (2), 703-711.
34. Zali, H., Hassanloo, T., Sofalian, O., Asghari, A., & Zeinalabedini, M. (2017). Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. *Journal of Crop Breeding*, 8 (20), 90-77.
35. Abdollahi, H. A., Sofalian, O., Alizadeh, B., Asghari, A., & Zali, H. (2020). Evaluation of Some Autumn Canola Genotypes Based on Agronomy Traits and SIIG Index. *Journal of Crop Breeding*, 12, 151-159.
36. Najafi, M. T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., & Zali, H. (2018). Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 20, 126-138.
37. Zali, H., & Barati, A. (2020). Evaluation of selection index of ideal genotype (SIIG) in other to selection of barley promising lines with high yield and desirable agronomy traits. *Journal of Crop Breeding*, 12 (34), 93-104.
38. Yoon, K. P., & Hwang, C. L. (1995). Multiple attribute decision making: an introduction. *Sage publications*, 350 p.
39. Mirzaei, M. R., & Hemayati, S. S. (2022). The effect of environment and maternal plant on germination traits of sugar beet seeds and an approach to select the superior genotype. *Agricultural Research*, 11 (4), 608-614.
40. Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. Circular. *California agricultural experiment station*, 347 (2nd edit).
41. Khan, M. S. A., Karim, M. A., Haque, M. M., Karim, A. J. M. S., & Mian, M. A. K. (2012). Screening of soybean genotypes for salt tolerance in hydroponics. In *conference on 'Advances in agronomic research under changing environment in Bangladesh' held on October* (Vol. 6, p. 2012).
42. Hamwieh, A., & Xu, D. (2008). Conserved salt tolerance quantitative trait locus (QTL) in wild and cultivated soybeans. *Breeding Science*, 58 (4), 355-359.
43. Zali, H., Barati, A., Pour-Aboughadareh, A., Gholipour, A., Koohkan, S., Marzoghiyan, A., ... & Nowosad, K. (2023). Identification of superior barley genotypes using selection index of ideal genotype (SIIG). *Plants*, 12 (9), 1843.
44. Genc, Y., Oldach, K., Verbyla, A. P., Lott, G., Hassan, M., Tester, M., ... & McDonald, G. K. (2010). Sodium exclusion QTL associated with improved seedling growth in bread wheat under salinity stress. *Theoretical and Applied Genetics*, 121, 877-894.
45. Xu, Y. F., An, D. G., Liu, D. C., Zhang, A. M., Xu, H. X., & Li, B. (2012). Mapping QTLs with epistatic effects and QTL × treatment interactions for salt tolerance at seedling stage of wheat. *Euphytica*, 186, 233-245.
46. Protásio, T. D. P., Guimarães Neto, R. M., Santana, J. D. D. P. D., Guimarães Júnior, J. B., & Trugilho, P. F. (2014). Canonical correlation analysis of the characteristics of charcoal from *Qualea parviflora* Mart. *Cerne*, 20, 81-88.
47. Alves, B. M., Cargnelutti Filho, A., Burin, C., & Toebe, M. (2017). Linear associations among phenological, morphological, productive, and energetic-nutritional traits in corn.

- Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52 (1), 26-35.
48. Tahmasebi, S., Dastfál, M., Zali, H., & Rajaie, M. (2018). Drought tolerance evaluation of bread wheat cultivars and promising lines in warm and dry climate of the south. *Cereal Research*, 8 (2), 209-225.
 49. Gholizadeh, A., Ghaffari, M., & Shariati, F. (2021). Use of selection index of ideal genotype (SIIG) in order to select new high yielding sunflower hybrids with desirable agronomic characteristics. *Journal of Crop Breeding*, 13 (38), 116-123.
 50. Haghighatnia, H. A. S. A. N., & Alhani, F. A. R. H. A. D. (2020). Evaluation of irrigation water salinity tolerance indices in new cultivars and lines of safflower. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51 (7), 1181-1821.
 51. Emami, S., Asghari, A., Mohammaddoust Chamanabad, H., Rasoulzadeh, A., & Ramzi, E. (2019). Evaluation of osmotic stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* L.) advanced lines. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12 (3), 697-707.
 52. Shirzad, A., Asghari, A., Zali, H., Sofalian, O., & Mohammaddoust Chamanabad, H. R. (2022). Selection of Barley Superior Lines with Desirable Agronomic Characteristics Using the Selection Index of Ideal Genotype (SIIG). *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 12 (1), 97-117.
 53. Karim, M. A., Utsunomiya, N., & Shigenaga, S. (1992). Effect of sodium chloride on germination and growth of hexaploid triticale at early seedling stage. *Japanese Journal of Crop Science*, 61 (2), 279-284.
 54. Anitha, T., & Usha, R. (2012). Effect of salinity stress on physiological, biochemical and antioxidant defense systems of high yielding cultivars of soyabean. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 3 (4), 851-864.
 55. Putri, P. H., Susanto, G. W. A., & Artari, R. (2017). Response of soybean genotypes to salinity in germination stage. *Nusantara Bioscience*, 9 (2), 133-137.
 56. Ohashi, Y., Saneoka, H., & Fujita, K. (2000). Effect of water stress on growth, photosynthesis, and photoassimilate translocation in soybean and tropical pasture legume siratro. *Soil Science and Plant Nutrition*, 46 (2), 417-425.
 57. Sharifi, M., Ghorbanli, M., & Ebrahimzadeh, H. (2007). Improved growth of salinity-stressed soybean after inoculation with salt pre-treated mycorrhizal fungi. *Journal of plant physiology*, 164 (9), 1144-1151.
 58. Islam, M. S. (2001). Morpho-physiology of blackgram and mungbean as influenced by salinity. An MS thesis. Dept. of Agronomy, BSMRAU, Salna, Gazipur, Bangladesh. 87 p.
 59. Pandey, U. K., & Sharma, A. P. (2002). Effect of salinity on potassium, calcium and magnesium content in rice varieties. *Indian Journal of Plant Physiology*, 73 (3), 302-304.
 60. Essa, T. A. (2002). Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars. *Journal of Agronomy and Crop science*, 188 (2), 86-93.
 61. Kumar, A., & Sharma, B. K. (1990). Specific ion effect on germination and seedling growth of wild canary grass (*Phalaris minor* (L.) Retz). *Advances in plant sciences*, 3, 321-325.
 62. Cramer, G. R., Alberico, G. J., & Schmidt, C. (1994). Leaf expansion limits dry matter accumulation of salt-stressed maize. *Functional Plant Biology*, 21 (5), 663-674.
 63. Alam, S. M., Ansari, R., Mujtaba, S. M., & Shereen, A. (2001). Salinization of millions of hectares of land continues to reduce crop productivity severely worldwide. Saline Lands and Rice: Industry & Economy. *Pakistan Economist*, 17, 60-71.

64. Läubli, A., & Wieneke, J. (1979). Studies on growth and distribution of Na⁺, K⁺ and Cl⁻ in soybean varieties differing in salt tolerance. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 142 (1), 3-13.
65. Ferdous, J., Mannan, M. A., Haque, M. M., Mamun, M. A., & Alam, M. S. (2018). Chlorophyll content, water relation traits and mineral ions accumulation in soybean as influenced by organic amendments under salinity stress. *Australian Journal of Crop Science*, 12 (12), 1806-1812.
66. Kao, W. Y., Tsai, T. T., Tsai, H. C., & Shih, C. N. (2006). Response of three Glycine species to salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 56 (1), 120-125.
67. Khan, M. S. A., Karim, M. A., Haque, M. M., Karim, A. J. M. S., & Mian, M. A. K. (2012). Screening of soybean genotypes for salt tolerance in hydroponics. *Bangladesh Agronomy Journal*, 16 (1), 95-104.

