

Comparison of germination characteristics of different ecotypes of crown vetch (*Securigera varia* L.) under salinity stress conditions**Rahimeh Saberfar¹, Farzad Nazari^{*1}, Gholamreza Heidari², Sirwan Babaei¹, Ayoub Molaahmad Nalousi²**

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2. Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

^{*}Corresponding Author Email: f.nazari@uok.ac.ir**Abstract**

Introduction: Salinity stress is a major abiotic factor limiting seed germination, establishment, and early growth of forage crops in arid and semi-arid regions. It disrupts plant physiological processes via osmotic stress and ionic imbalance, which ultimately reduces growth and productivity. Crown vetch, a perennial legume known for its nitrogen-fixing ability and relative tolerance to adverse environmental conditions, is an important component of forage production systems. However, different crown vetch ecotypes may exhibit considerable variation in their response to salinity stress, especially during early growth stages. This study therefore aimed to evaluate the effects of salinity stress on the germination and seedling growth of different crown vetch ecotypes, with the goal of identifying salt-tolerant ecotypes.

Materials and Methods: To investigate the effects of salinity stress on seed germination and seedling growth of crown vetch, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with three replications using seeds of 10 ecotypes collected from different regions. The first factor was ecotype, and the second factor was salinity levels (0, 25, 50, 100, 150, and 200 mM NaCl). Seeds were germinated under controlled laboratory conditions. At the end of the experimental period, germination percentage and germination rate, mean daily germination, mean germination time, radicle length, plumule length, seedling length, seed vigor index, seedling dry weight, and allometric coefficient were measured. In addition, salinity tolerance index (TI) and salinity sensitivity index (SI) were calculated for each ecotype. Hierarchical cluster analysis was used to classify ecotypes based on their salinity tolerance.

Results: The results showed that increasing salinity levels up to 200 mM significantly reduced germination percentage and germination rate in all crown vetch ecotypes. The Nahavand ecotype exhibited the best performance, maintaining 48% germination at 200 mM NaCl and the highest germination rate, whereas the Hamedan ecotype showed the greatest reduction with only 4% germination. Mean daily germination remained nearly constant at low salinity levels but decreased markedly at higher salinity levels. Mean germination time increased in all ecotypes as salinity stress intensified. Radicle length, plumule length, seedling length, seed vigor index, seedling dry weight, and allometric coefficient significantly decreased with increasing salinity. Among the studied ecotypes, Nahavand consistently showed superior performance for these traits. With increasing salinity, both salinity tolerance index (TI) and salinity sensitivity index (SI) decreased across ecotypes. The Nahavand ecotype exhibited the highest tolerance (116.9), while the Marivan and Ilam ecotypes showed the highest sensitivity (−74.97 and −75.59, respectively). Hierarchical cluster analysis classified the Nahavand and Semnan ecotypes as salt-tolerant across all salinity levels, whereas the Hamedan, Paveh, Sarvabad, Ilam, and Marivan ecotypes were grouped as sensitive at salinity levels above 25 mM.

Conclusion: Overall, the results of this study demonstrated that the response of crown vetch ecotypes to salinity stress varies significantly. The selection of salt-tolerant ecotypes such as Nahavand and Semnan can be considered an effective strategy to enhance production stability and improve forage performance in saline and semi-arid regions. It is recommended that future studies evaluate the performance of these ecotypes under field conditions and at later growth stages (vegetative and reproductive) to assess the stability of their tolerance traits under practical agricultural conditions.

Keywords: Allometric coefficient, Salt tolerance index (TI), Seed vigor index, Sensitivity index (SI)**Received:** 22-11-2025**Accepted:** 18-09-2025

Citation: Saberfar, R., Nazari, F., Heidari, Gh., Babaei, S., & Molaahmad Nalousi, A. (2025). Evaluation of some rice hybrids improved of cytoplasmic genetic male sterility for agronomic and physicochemical traits. *Plant Production and Genetics*, 6(2), 219-238. <https://doi.org/10.22034/PLANT.2025.144537.1174>

Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



تولید و ژنتیک گیاهی

<https://doi.org/10.22034/PLANT.2025.144537.1174>مقایسه ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی (*Securigera varia* L.) تحت

شرایط تنش شوری

رحیمه صابرفر^۱، فرزاد نظری^{۲*}، غلامرضا حیدری^۱، سیروان بابائی^۱، ایوب ملا احمد نالوسی^۲

۱. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲. گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: f.nazari@uok.ac.ir

چکیده

مقدمه: تنش شوری، به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده غیرزیستی، جوانه‌زنی، استقرار و رشد اولیه گیاهان علوفه‌ای را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تنش با ایجاد اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه از طریق ایجاد تنش اسمزی و عدم تعادل یونی، سبب کاهش رشد و عملکرد می‌شود. یونجه باغی به‌عنوان یک گیاه لگوم چندساله با توانایی تثبیت نیتروژن و سازگاری نسبی با شرایط نامساعد محیطی، اهمیت زیادی در تولید علوفه دارد. با این وجود، واکنش اکوتیپ‌های مختلف این گونه به تنش شوری، به ویژه در مراحل اولیه رشد، می‌تواند متفاوت باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی اثر تنش شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی و شناسایی اکوتیپ‌های متحمل به شوری است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر تنش شوری بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه‌های یونجه باغی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بر روی بذور ۱۰ اکوتیپ جمع‌آوری‌شده از شهرستان‌های مختلف انجام شد. فاکتور اول (اکوتیپ‌ها) و فاکتور دوم سطوح شوری (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بود. بذرها در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی کشت شدند و پس از پایان دوره آزمایش، صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، میانگین زمان جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، شاخص بنیه بذر، وزن خشک گیاهچه و ضریب آلومتریک اندازه‌گیری گردید. همچنین شاخص تحمل به شوری (TI) و شاخص حساسیت به شوری (SI) برای اکوتیپ‌ها محاسبه شد. برای گروه‌بندی اکوتیپ‌ها از نظر میزان تحمل به شوری، از تحلیل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی استفاده گردید.

نتایج: نتایج نشان داد با افزایش غلظت شوری تا ۲۰۰ میلی‌مولار، درصد و سرعت جوانه‌زنی اکوتیپ‌ها کاهش معنی‌داری داشت. اکوتیپ نه‌اوند بهترین عملکرد را با ۴۸ درصد جوانه‌زنی در ۲۰۰ میلی‌مولار و بالاترین سرعت جوانه‌زنی حفظ کرد، درحالی‌که اکوتیپ‌های همدان با ۴ درصد جوانه‌زنی، بیشترین کاهش را نشان دادند. میانگین جوانه‌زنی روزانه در سطوح پایین شوری تقریباً ثابت ماند اما در سطوح بالاتر، کاهش یافت. میانگین زمان جوانه‌زنی در تمامی اکوتیپ‌ها با افزایش شوری طولانی‌تر شد. طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، شاخص بنیه بذر، وزن خشک گیاهچه و ضریب آلومتریک نیز به‌طور قابل توجهی با افزایش شوری کاهش یافتند. اکوتیپ نه‌اوند در این شاخص‌ها عملکرد بهتری نسبت به سایر اکوتیپ‌ها داشت. با افزایش شوری، شاخص تحمل به شوری (TI) و حساسیت به شوری (SI) همه اکوتیپ‌ها کاهش یافت. اکوتیپ نه‌اوند بیشترین تحمل (۱۱۶/۹) و اکوتیپ‌های مریوان و ایلام بیشترین حساسیت (به‌ترتیب ۷۴/۹۷ و ۷۵/۵۹) را نشان دادند. تحلیل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی نشان داد که اکوتیپ‌های نه‌اوند و سمنان در تمام سطوح شوری، عملکرد بهتری داشتند و در گروه مقاوم قرار گرفتند و اکوتیپ‌های همدان، پاوه، سروآباد، ایلام و مریوان گروه حساس را در سطوح شوری بالاتر از ۲۵ میلی‌مولار تشکیل دادند.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که واکنش اکوتیپ‌های یونجه باغی به تنش شوری به‌طور قابل توجهی متفاوت است و انتخاب اکوتیپ‌های مقاوم مانند نه‌اوند و سمنان می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای افزایش پایداری تولید و بهبود عملکرد در مناطق شور و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده به بررسی عملکرد این اکوتیپ‌ها در شرایط مزرعه و در مراحل رشد بعدی (رویشی و زایشی) اختصاص یابد تا پایداری صفات مقاومتی آن‌ها در شرایط واقعی زراعی ارزیابی شود.

کلید واژگان: شاخص بنیه بذر، ضریب آلومتریک، شاخص تحمل شوری، شاخص حساسیت

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۷

منبع: صابرفر، ر.، نظری، ف.، حیدری، غ.، بابائی، س.، و ملا احمد نالوسی، ا. (۱۴۰۴). مقایسه ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی (*Securigera**varia* L.) تحت شرایط تنش شوری، *مجله تولید و ژنتیک گیاهی*، ۶ (۲)، ۲۳۸-۲۱۹. <https://doi.org/10.22034/PLANT.2025.144537.1174>

مقدمه

گیاهان در طول رشد و نمو تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند دما، نور، آب، مواد مغذی و غیره قرار می‌گیرند (Bulut & Gurkan, 2017). در میان آن‌ها، رطوبت و شوری از عوامل اصلی محیطی مؤثر بر بقا و رشد گیاهان، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند (Liu et al., 2021). تنش شوری، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین تنش‌های محیطی محدودکننده رشد و تولید گیاهان، در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که یکی از دلایل اصلی کمبود آب در گیاهان محسوب می‌شود و تهدیدی جدی برای امنیت غذایی جهان و پایداری تولیدات گیاهی می‌باشد (Tariq et al., 2020). تنش‌های محیطی، به‌ویژه تنش‌های خشکی و شوری، به‌عنوان بازدارنده‌های رشد و نمو گیاه محسوب می‌شوند. تنش شوری سبب تأخیر در جوانه‌زنی، کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی و تأخیر در ظهور ریشه‌ها و ساقه‌ها می‌شود. به‌نظر می‌رسد اگر بذر بتواند در شرایط تنش از مرحله جوانه‌زنی عبور کند، گیاهچه فرصت بیشتری برای رشد و نمو خواهد داشت و توانایی بالاتری در تحمل و غلبه بر شرایط نامساعد محیطی خواهد داشت. این امر تا حد زیادی به ساختارهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهچه‌ها بستگی دارد (Nezamivand Chegini et al., 2021). بیشتر گیاهان توانایی رشد در خاک‌های شور یا قلیایی را ندارند و حتی در شوری نسبتاً کم (در حد ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) نیز به شدت سبب کاهش عملکرد آنها می‌شود (Cheeseman, 2015). معمولاً مرحله ابتدایی رشد (جوانه-زنی بذر که با رشد رویشی و رشد زایشی گیاهان در مرحله بعدی مرتبط است)، حساس‌ترین مرحله رشدی محسوب می‌شود (Causin et al., 2020). جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه مستقیماً بر توزیع و تنوع گیاهان تأثیر می‌گذارد (Souza & Fagundes, 2014). در شرایط تنش شوری جوانه‌زنی بذر با مشکل مواجه می‌شود و در واقع این تنش با محدود کردن جذب آب، کاهش تجزیه مواد ذخیره‌ای بذر و اختلال در ساخت آنزیم‌های ذخیره‌ای موجود، منجر به کاهش جوانه‌زنی بذور می‌شود. همچنین، سمیت ناشی از یون‌های سدیم و کلر در شرایط شوری نقش مهمی در کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی بذر دارند و تعادل مواد مغذی در گیاهان را مختل کرده و سبب مسمومیت یا حتی مرگ می‌شود (Martins et al., 2019; Causin et al., 2020).

در سال‌های اخیر، با گرمایش جهانی، میزان آسیب خشکسالی و شوری به تدریج افزایش یافته است (Gad et al., 2021; Zhou et al., 2022). استفاده از گیاهان بومی مقاوم به خشکی و شوری، یکی از بهترین و مقرون به‌صرفه‌ترین راه‌های پایدار مقابله با کمبود منابع آبی و تنش شوری است (Simmons et al., 2011). بنابراین، مطالعه ویژگی‌های جوانه‌زنی بذرهای گیاهی تحت تنش شوری از اهمیت نظری و عملی بالایی برخوردار است تا مقاومت گیاهان به شوری و همچنین توزیع و تنوع جمعیت‌های گیاهی، به‌ویژه در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک، به‌طور جامع بررسی شود (Ma et al., 2024).

یونجه باغی (*Securigera varia*) یک گونه لگوم، متعلق به خانواده حبوبات و بومی ایران است (Shanjani et al., 2023). این گیاه چندساله با عادت رشد گسترده، مقاومت قابل توجهی در برابر سرما و خشکی دارد. ساقه‌های آن زاویه‌دار بوده و ارتفاع آن در دوره گلدهی به ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر می‌رسد. این گیاه سپس انشعابات متراکمی با گستردگی حدود ۳۰ سانتی‌متر ایجاد می‌کند (Wu et al., 2011) و می‌تواند در طول چهار سال، سطحی بین ۲۰ تا ۳۰ مترمربع را بپوشاند. به دلیل این ویژگی‌ها، از یونجه باغی به‌عنوان یک گیاه پوششی زینتی و مرتعی برای کنترل علف‌های هرز، تثبیت نیتروژن هوا و بهبود شرایط ریزاقلیم خاک استفاده می‌شود (Molano-Flores, 2014). کاربرد اصلی آن، کنترل فرسایش، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک و پوشش سطحی است و در حاشیه جاده‌ها و بزرگراه‌ها به‌عنوان گیاه زینتی در شیب‌های تند استفاده می‌شود و با گذشت زمان بهبود یافته و به‌تدریج از سایر علف‌های هرز پیشی می‌گیرند. این گیاه از طریق بذر یا ریزوم تکثیر می‌یابد و در خاک‌هایی با شوری ۰/۵ درصد رشد می‌کند (Wu et al., 2011). بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ۱۹ اکوتیپ جمع‌آوری‌شده یونجه در سه مرحله رشدی و در سطوح شوری صفر تا ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر نشان داده که عامل‌های شوری، اکوتیپ‌ها و برهمکنش آن‌ها بر جوانه‌زنی تأثیر معنی‌داری داشتند. اکوتیپ‌های مناطق خشک (بمی) و سرد (گله‌بانی) با ۸۶ و ۷۸ درصد جوانه‌زنی بیشترین تحمل را نشان دادند (Torabi, 2010). همچنین در پژوهش دیگری، بذرهای یونجه، گون افراشته و یونجه‌باغی در جوانه‌زنی تحت تأثیر شوری (کلرید سدیم) و خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول

سطح شوری ۳۰۰ میلی‌مولار ثبت گردید (Khan et al., 2025). با توجه به افزایش تهدید تنش شوری خاک‌ها تحت شرایط تغییرات اقلیمی، شناسایی و استفاده از ارقام یونجه مقاوم به شوری برای پایداری تولید علوفه، امنیت غذایی و حفظ اکوسیستم‌های کشاورزی حیاتی است و پژوهش‌های آینده باید نتایج آزمایشگاهی و گلخانه‌ای را در آزمایش‌های میدانی طولانی‌مدت با ارزیابی‌های فیزیولوژیکی، مولکولی و عملکردی توسعه دهند تا سیستم‌های کشاورزی مقاوم و هوشمند اقلیمی ایجاد شود (Farissi et al., 2011). هدف از این تحقیق بررسی تأثیر تنش شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات رشدی اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی و شناسایی اکوتیپ‌های مقاوم به شوری بود.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی اثر تنش شوری بر جوانه‌زنی، پس از ضدعفونی بذور اکوتیپ‌های مختلف، آن‌ها را در گروه‌های ۵۰ تایی روی کاغذ صافی واتمن نمره یک درون پتری‌دیش‌های به قطر نه سانتی‌متر قرار داده شدند. بعد پتری‌دیش‌ها داخل سینی و سینی داخل یک پلاستیک قرار گرفت تا تبخیر آب به حداقل برسد. سپس نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در هشت ساعت نور و ۱۶ ساعت تاریکی، درون ژرمیناتور (مدل MLR-350H، شرکت الکترونیک سانئو ژاپن) به مدت ۱۴ روز قرار گرفتند (Vivanco et al., 2021). آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی (همدان، نهاوند، پاره، سمنان، سنندج، سروآباد، سقز، کرمانشاه، ایلام و مریوان) و فاکتور دوم تنش شوری با سطوح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار از نمک کلرید سدیم) بود. بعد از گذشت ۱۴ روز از زمان کاشت، شاخص‌های درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و وزن خشک گیاهچه اندازه‌گیری و شاخص بنیه‌بذر، میانگین زمان جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، ضریب سرعت جوانه‌زنی و ضریب آلومتریک محاسبه گردید. هنگام شمارش، بذرهایی جوانه زده تلقی می‌شدند که طول ریشه‌چه آن‌ها حداقل ۲ میلی‌متر بود. طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با خط‌کش اندازه‌گیری و وزن خشک گیاهچه، پس از قرارگیری ۱۵ گیاهچه در آون (مدل UNE 500) به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. درصد جوانه‌زنی (Blum, 1988)، سرعت

(PEG) قرار گرفتند. درصد جوانه‌زنی یونجه و گون افراشته بیشتر از یونجه باغی و طول ریشه‌چه و هیپوکوتیل یونجه به‌طور قابل توجهی بیشتر بود. اثرات PEG بر طول ریشه‌چه و هیپوکوتیل مشابه کلرید سدیم بود و وزن تر هر سه گونه کاهش یافت، اما جوانه‌زنی یونجه تحت تأثیر غلظت‌های پایین PEG و کلرید سدیم مهار نشد (Wu et al., 2011). در مطالعه‌ی بررسی تأثیر شوری در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد با استفاده از کربنات کلسیم (CaCO_3) بر جوانه‌زنی و رشد چند رقم یونجه (*Medicago sativa* L.) پاسخ‌های متفاوتی مشاهده شد. رقم‌های V15 و Spid بهترین عملکرد را در جوانه‌زنی و یکنواختی رشد داشتند و نشان‌دهنده تحمل بالای این ارقام به شوری و توانایی سازگاری بهتر با شرایط سخت محیطی بودند. از سوی دیگر، ارقام V5، Tequila، Diamond و Gold تحمل کمتری نسبت به شوری نشان دادند (Farissi et al., 2011). ارزیابی جوانه‌زنی پنج رقم یونجه در پنج سطح شوری (صفر، ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) نشان داده که درصد و سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر رقم و شوری قرار دارد. رقم Vernal در شوری صفر بالاترین درصد جوانه‌زنی (۹۰ درصد) را داشته و در شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، رقم Halo بالاترین سرعت جوانه‌زنی و رقم Rangelander در همه تیمارها کمترین سرعت را داشته است. با افزایش سطح شوری، سرعت جوانه‌زنی برای هر پنج رقم کاهش یافته است. نرخ جوانه‌زنی بذر رقم Halo در تمام سطوح شوری بالاترین و رقم Rangelander کمترین بود (Bhattarai et al., 2022). همچنین ارزیابی تحمل گیاه *Securiger securidaca* به تنش شوری با کلرید سدیم در سطوح مختلف در مرحله جوانه‌زنی بررسی شد و نتایج نشان داده، شوری سبب کاهش معنی‌دار درصد و سرعت جوانه‌زنی شده است (Moradian et al., 2024). در پژوهشی جوانه‌زنی یونجه در شش سطح شوری (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار) بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری تا ۲۰۰ میلی‌مولار، درصد جوانه‌زنی تا ۸۰ درصد و شاخص جوانه‌زنی تا ۹۸ درصد افزایش یافت، درحالی‌که انرژی جوانه‌زنی و شاخص بنیه جوانه‌زنی به میزان ۹۵ درصد کاهش نشان دادند. با این وجود، میانگین زمان جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاهش معنی‌دار در درصد جوانه‌زنی در سطح شوری ۲۵۰ میلی‌مولار تا ۳۰ درصد مشاهده شد و کمترین درصد جوانه‌زنی (۱۰ درصد) در

به کنترل است که از روابط ۹-۱۰ محاسبه شد (Thouraya et al., 2013).

(۹)

$$\text{Salt tolerance index TI (\%)} = (\text{TDW at Sx} / \text{TDW at S0}) \times 100$$

(۱۰)

$$(\text{SI}\%) \text{ reduction} = 100 \times ((\text{salt treatment} - \text{control}) / \text{control})$$

که در آن TI شاخص تحمل به شوری، TDW وزن خشک کل گیاه، S0 کنترل و Sx غلظت شوری است. به جای مقایسه نرخ‌های رشد مطلق، تحمل شوری به صورت کاهش نسبی وزن گیاه نسبت به کنترل بیان می‌شود که نشان‌دهنده توان نسبی گیاه در شرایط تنش شوری است. SI شاخص حساسیت به شوری که براساس SI(GP) شاخص حساسیت به شوری برای درصد جوانه‌زنی و SI(DW) شاخص حساسیت به شوری برای رشد گیاهچه بیان می‌گردد. این شاخص‌ها به پژوهشگران امکان می‌دهند تا مقاومت و حساسیت ارقام مختلف را به صورت کمی و قابل مقایسه ارزیابی کنند. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS (نسخه ۹/۴) و مقایسات میانگین تیمارهای آزمایشی براساس آزمون مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح یک درصد صورت گرفت. برای بررسی ساختار داده‌ها و گروه‌بندی اکوتیپ‌های یونجه‌باغی تحت تنش شوری، ابتدا تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) با استفاده از نرم‌افزار R و بسته prcomp انجام شد. براساس صفات کلیدی حاصل از مؤلفه اول (PC1)، تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی با فاصله اقلیدسی و روش Ward با استفاده از نرم‌افزار R و بسته‌های stats و cluster انجام شد و دندروگرام حاصل برای شناسایی گروه‌های اکوتیپ‌های مقاوم، متوسط و حساس به شوری رسم گردید، همچنین نمودارهای ستونی توسط نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثر تنش شوری، اکوتیپ‌های یونجه باغی و اثر متقابل تنش شوری و اکوتیپ-های مختلف یونجه باغی به طور معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، سرعت جوانه‌زنی روزانه، ضریب سرعت جوانه‌زنی و همچنین میانگین طول ریشه‌چه، ساقه-چه و گیاهچه، شاخص بنیه بذری، وزن خشک گیاهچه، ضریب آلومتریکی، شاخص تحمل شوری و شاخص حساسیت به شوری اثرگذار بوده است (جدول ۱).

جوانه‌زنی (Maguire, 1962)، شاخص بنیه بذری (Abdulkabi and anderson, 1973)، میانگین جوانه‌زنی روزانه (Osborne et al., 1993)، میانگین زمان جوانه‌زنی (Brenchley et al., 1998)، سرعت جوانه‌زنی روزانه (Maguire, 1962)، ضریب سرعت جوانه‌زنی (Scott et al., 1984) و ضریب آلومتریکی (Ebrahimi et al., 2013; Ebrahimi and Miri, 2016) به ترتیب از روابط ذیل محاسبه شدند.

$$GP = \sum Ni / N \times 100 \quad (۱)$$

$$GR = \sum Si / Di \times 100 \quad (۲)$$

$$VI = [GR (\%) \times MSH] / 100 \quad (۳)$$

$$MDG = b / n \times 100 \quad (۴)$$

$$MGT = (\sum ni \times di) / b \quad (۵)$$

$$DGS = 1 / MDG \quad (۶)$$

(۷)

$$CVG = ((N_1 + N_2 + N_3 \dots + N_n) \times 100) / (N_1 T_1 + N_2 T_2 + N_3 T_3 \dots + N_n T_n)$$

$$AC = RL / SL \quad (۸)$$

که در این روابط، GP درصد جوانه‌زنی، $\sum Ni$ مجموع بذریه‌های جوانه‌زده در طول مدت آزمایش، N تعداد کل بذریه‌های کشت شده، GR درصد جوانه‌زنی، Si تعداد بذریه‌های جوانه‌زده در هر شمارش، Di تعداد روز تا شمارش ln ، VI شاخص بنیه‌بذری، MSH متوسط طول گیاهچه به میلی‌متر، MDG میانگین جوانه‌زنی روزانه، b کل تعداد بذریه‌هایی که جوانه زده‌اند در طول دوره آزمایش، n کل تعداد روزهای دوره جوانه‌زنی یا آزمایش، MGT میانگین زمان جوانه‌زنی، ni تعداد بذریه‌هایی که در روز i جوانه زده‌اند، di شماره روز (از شروع آزمایش) که جوانه‌زنی ثبت شده، b تعداد کل بذریه‌های جوانه‌زده، DGS سرعت جوانه‌زنی روزانه، CVG ضریب سرعت جوانه‌زنی، $N_1 + \dots + N_n$ تعداد بذریه‌های جوانه‌زده در روز $ام$ ، $T_1 + \dots + T_n$ تعداد روز از شروع آزمایش تا روز $ام$ ، AC ضریب آلومتریکی، RL طول ریشه‌چه و SL طول ساقه‌چه می‌باشد.

شاخص تحمل شوری (TI) و شاخص حساسیت به شوری (SI%)

شاخص تحمل شوری به صورت نسبت وزن خشک کل گیاهان تحت غلظت‌های مختلف شوری به وزن خشک کل گیاهان شاهد (کنترل) است و شاخص حساسیت نشان‌دهنده کاهش درصدی صفات تحت تنش شوری نسبت

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش شوری، اکوتیپ‌های مختلف یونجه‌باغی و اثر متقابل تنش شوری و اکوتیپ‌های مختلف بر شاخص‌های جوانه‌زنی، رشدی، شاخص تحمل شوری و شاخص حساست شوری

میانگین مربعات															
منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین جوانه‌زنی روزانه	میانگین زمان جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی روزانه	ضرب سرعت جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	طول گیاهچه	شاخص بنیه بذر	وزن خشک گیاهچه	ضرب آلومتریک	شاخص تحمل شوری	شاخص حساسیت شوری
اکوتیپ	۹	*۱۲۱۷/۹	*۵/۵۲	*۶/۲۱	*۱۰/۱۷	*۰/۰۰۶۱	*۱/۳۲	*۳۶/۷۰	*۱/۳۴	*۵۱/۶۲	*۴۹/۸۳	*۰/۰۰۳۴	*۱/۳۳	*۴۸۹/۱۹	*۱۹۵/۸۴
تنش شوری	۵	*۴۰۰۷۳	*۱۱۴/۳	*۲۰۴/۳	*۵۵/۰۷	*۰/۰۲۸۸	*۱۵/۸۵	*۱۵۷/۸۹	*۲/۵۸	*۲۰۰	*۳۵۴/۶	*۰/۰۱۱	*۴۶/۹۱	*۲۶۱۱۱/۸	*۳۱۴۷۰/۸
اکوتیپ × تنش شوری	۴۵	*۴۱۰/۹	*۰/۴۳۵	*۲/۰۹	*۴/۶۱	*۰/۰۰۳۵	*۰/۸۳۹	*۰/۶۱	*۰/۰۸۸	*۰/۹۶	*۲/۱۴	*۰/۰۰۰۰۴	*۱/۴۷	*۲۳/۱	*۱۲/۷
خطای آزمایش	۱۱۸	۶/۷۶	۰/۰۲۱۷	۰/۰۳۴	۰/۰۷۳۰	۰/۰۰۰۰۵۷	۰/۰۰۱۸	۰/۰۶۴	۰/۰۰۲۴	۰/۰۹۲	۰/۲۰۴	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۷	۱/۸۶	۰/۸۳۵
ضرب تغییرات (%)	-	۳/۶۵	۴/۶۲	۳/۶۵	۳/۹۵	۴/۷۶	۷/۷۴	۵/۱۴	۴/۵۸	۵/۰۶	۸/۸۵	۶/۱۴	۰/۶۲	۱/۸۳	-۲/۸۳

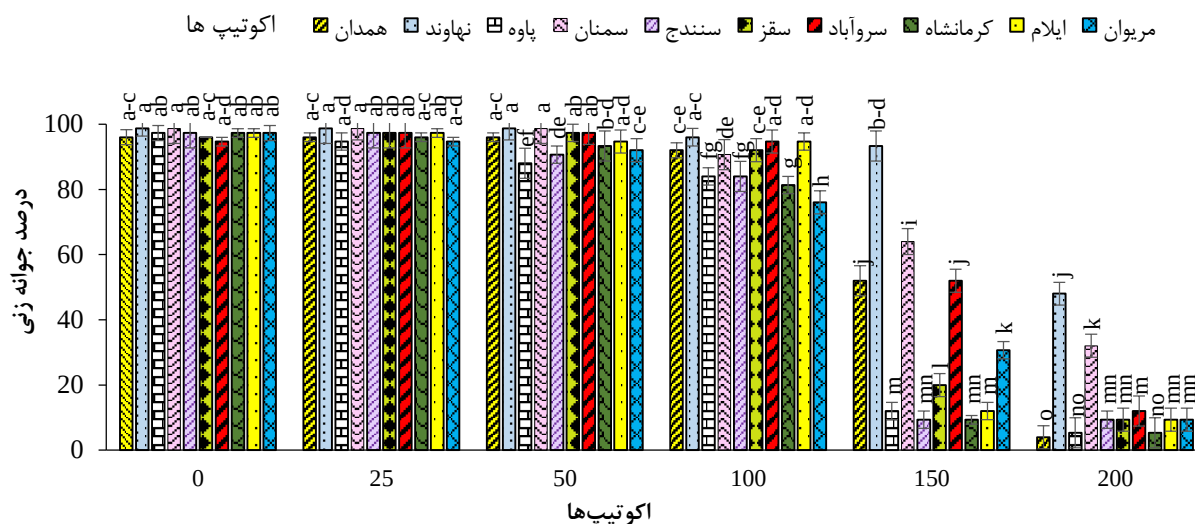
* معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

درصد و سرعت جوانه‌زنی

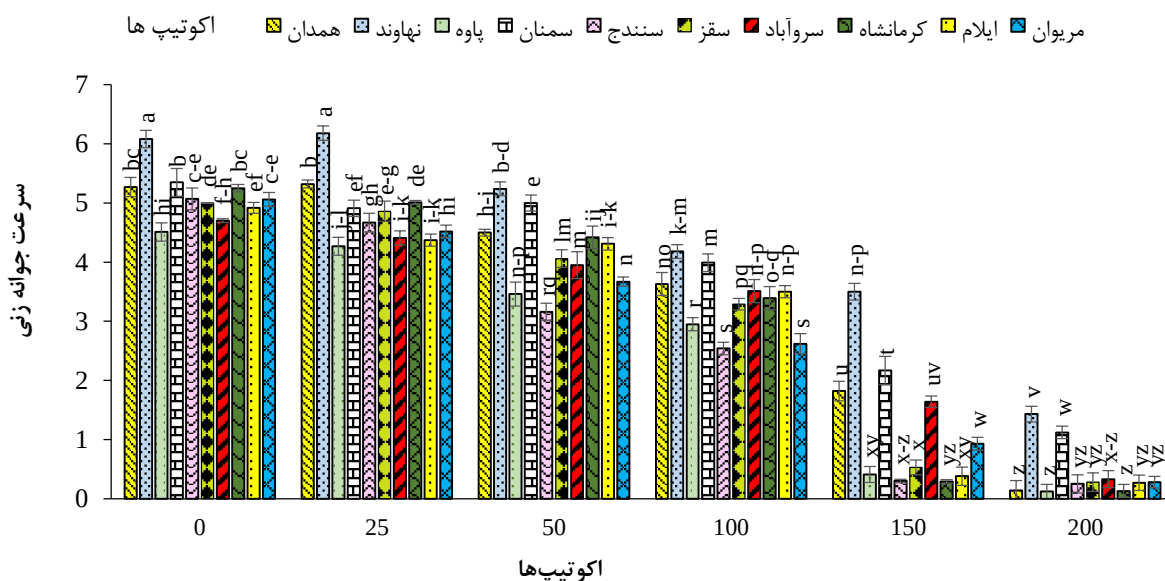
مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف شوری و اکوتیپ-های مختلف یونجه‌باغی بر درصد جوانه‌زنی (شکل ۱) نشان‌دهنده کاهش این ویژگی با افزایش غلظت نمک از صفر تا ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود. در تیمار شاهد (صفر میلی‌مولار)، اختلاف معنی‌داری بین اکوتیپ‌های مختلف از نظر درصد جوانه‌زنی مشاهده نشد و اکوتیپ‌های نه‌پاوند و سمنان با ۹۸/۶۷ درصد، بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند. در سطح شوری ۲۵ میلی‌مولار، بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به اکوتیپ‌های نه‌پاوند و سمنان (۹۸/۶۷) بود. در سطح ۵۰ میلی‌مولار، اکوتیپ‌های نه‌پاوند و سمنان (۹۸/۶۷) بیشترین درصد جوانه‌زنی را داشتند. در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار، اکوتیپ نه‌پاوند با ۹۶ درصد بیشترین مقدار را نشان داد. در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار، اکوتیپ نه‌پاوند (۹۳/۳۳) بالاترین درصد جوانه‌زنی را داشت. در نهایت، در بالاترین سطح شوری (۲۰۰ میلی‌مولار)، اکوتیپ نه‌پاوند با ۴۸ درصد بهترین عملکرد را نشان داد. بیشترین کاهش درصد جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد در اکوتیپ‌های همدان و پاوه مشاهده شد که به ترتیب ۹۲ و ۹۴/۹۲ درصد کاهش داشتند، در حالی که کمترین کاهش در اکوتیپ نه‌پاوند (۵۱/۳۳ درصد) مشاهده شد (شکل ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه‌باغی بر سرعت جوانه‌زنی (شکل ۲) نشان داد که با افزایش غلظت کلرید سدیم از ۰ تا ۲۰۰ میلی‌مولار، سرعت جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در تیمار شاهد (صفر میلی‌مولار)، بالاترین سرعت جوانه‌زنی متعلق به اکوتیپ نه‌پاوند (۶/۰۸) و کمترین به اکوتیپ پاوه (۴/۵۱) بود. در سطح شوری ۲۵ میلی‌مولار نیز نه‌پاوند (۶/۱۸) بالاترین و پاوه (۴/۲۷) کمترین سرعت جوانه‌زنی را داشت. با افزایش شوری به ۵۰ میلی‌مولار، نه‌پاوند (۵/۲۴) همچنان بالاترین مقدار را نشان داد، در حالی که کمترین مقدار مربوط به اکوتیپ سنندج (۳/۱۶) بود. در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار، نه‌پاوند با ۴/۱۸ بالاترین و سنندج با ۲/۵۴ کمترین سرعت جوانه‌زنی را داشت. در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، نه‌پاوند (۳/۵) بیشترین و سنندج (۰/۳۰) کمترین مقدار را ثبت کردند. در نهایت، در بالاترین سطح شوری (۲۰۰ میلی‌مولار) نیز نه‌پاوند با ۱/۴۳ بالاترین سرعت و همدان (۰/۱۴) کمترین سرعت جوانه‌زنی را داشت.

بیشترین کاهش سرعت جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد در اکوتیپ‌های همدان، پاوه، سنندج و کرمانشاه مشاهده شد که تقریباً بیش از ۹۷ درصد کاهش داشتند، در حالی که کمترین کاهش در اکوتیپ نه‌پاوند (حدود ۷۶ درصد) ثبت شد. این نتایج بیانگر برتری اکوتیپ نه‌پاوند در حفظ توانایی جوانه‌زنی سریع تحت تنش شوری است (شکل ۲).

کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی به‌طور واضح وابسته به حساسیت ژنتیکی هر اکوتیپ بوده و برتری اکوتیپ نه‌پاوند در تحمل به تنش شوری، به‌ویژه در سطوح بالاتر کلرید سدیم، به‌خوبی مشهود است. درصد جوانه‌زنی اکوتیپ نه‌پاوند حتی در بالاترین غلظت شوری (۲۰۰ میلی‌مولار) حدود ۴۸ درصد حفظ شده که بیانگر توانایی این اکوتیپ در مقابله با اثرات نامطلوب یون‌های سدیم و کلراید است، در حالی که اکوتیپ‌های حساس‌تر همچون همدان و پاوه کاهش بیش از ۹۰ درصدی را تجربه کردند. این تفاوت‌ها احتمالاً به دلایل ژنتیکی و مکانیسم‌های تحمل متفاوت این اکوتیپ‌ها باز می‌گردد که نیازمند بررسی‌های مولکولی و فیزیولوژیکی بیشتر است. تحقیق (Farissi et al., 2011)، بیانگر کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی جمعیت‌های یونجه مراکشی با افزایش کلرید سدیم و تفاوت حساسیت بین جمعیت‌ها بود. همچنین (Wang et al., 2020; Xie et al., 2023)، نشان دادند با افزایش تنش شوری، قابلیت جوانه‌زنی و درصد نهایی جوانه‌زنی یونجه کاهش یافت، که این موضوع با نتایج مطالعه حاضر هم‌راستا است. براساس یافته‌های (Daneshnia & Chaichi, 2018)، اثر مهار کلرید سدیم عمدتاً ناشی از تنش اسمزی است که در مراحل اولیه جوانه‌زنی موجب کاهش جذب آب توسط بذرها می‌شود و همچنین تجمع یون‌های سمی سدیم و کلراید در بافت‌های جنین، فعالیت‌های متابولیکی لازم برای جوانه‌زنی را مختل می‌سازد. بنابراین افزایش تنش شوری موجب اختلال در ساختار آنزیم‌ها و ماکرومولکول‌ها، آسیب به اندامک‌های سلولی، کاهش فعالیت‌های تنفسی و سنتز پروتئین می‌شود و در نتیجه، ذخایر داخلی بذر به‌خوبی آزاد نشده و سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌های مورد نیاز برای رشد متوقف می‌شود که همه این عوامل در نهایت مانع رشد و جوانه‌زنی یونجه می‌گردند. این مکانیسم‌ها می‌توانند توجیه‌کننده کاهش شدید درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در اکوتیپ‌های حساس‌تر یونجه باغی باشند.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر درصد جوانه‌زنی میله‌ها نشان‌دهنده میانگین $\pm$ خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار ($n=3$) هستند.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر سرعت جوانه‌زنی میله‌ها نشان‌دهنده میانگین $\pm$ خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار ($n=3$) هستند.

روزانه‌ی اکوتیپ همدان از ۶/۵۷ روز در ۱۰۰ میلی‌مولار به ۳/۷۱ روز در ۱۵۰ میلی‌مولار و ۰/۲۹ روز در ۲۰۰ میلی‌مولار کاهش یافت. روند مشابهی در اکوتیپ‌های پاوه، سenej، سروآباد، کرمانشاه و ایلام نیز مشاهده شد که میانگین جوانه‌زنی روزانه در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار به کمتر از یک روز کاهش یافت. در مقابل، اکوتیپ‌هایی مانند نهاوند و سمنان کاهش کمتری در میانگین جوانه‌زنی روزانه در این سطوح بالا داشتند، به‌طوری که در ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۳/۴۳ و ۲/۲۹ روز باقی ماند. کمترین میانگین زمان

میانگین جوانه‌زنی روزانه و میانگین زمان جوانه‌زنی
نتایج نشان داد که میانگین جوانه‌زنی روزانه در شرایط بدون تنش (صفر میلی‌مولار)، در اکوتیپ‌ها بسیار مشابه و در حدود ۶/۷ تا ۷/۰۵ روز بود. با افزایش غلظت شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار، تغییرات نسبتاً کمی در میانگین جوانه‌زنی روزانه مشاهده شد و میانگین جوانه‌زنی روزانه در محدوده حدود ۵/۴۳ تا ۷/۰۵ روز باقی ماند. اما در غلظت‌های بالاتر شوری (۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار)، کاهش چشمگیری در میانگین جوانه‌زنی روزانه رخ داد. به‌طوری که میانگین جوانه‌زنی

می‌دهد. به بیان دیگر، بالا بودن میانگین زمان جوانه‌زنی به معنای تأخیر در شروع و پیشرفت فرآیند جوانه‌زنی است (Bewley et al., 2013). نتایج این تحقیق با (Bhardwaj et al., 2010; Soltani1 et al., 2012) همسو است که بیان کردند، میانگین زمان جوانه‌زنی ارقام یونجه با افزایش شوری افزایش یافت، این تأخیر نشان‌دهنده اختلال در روند جذب آب و فعال شدن متابولیسم بذر تحت تنش شوری است. در ارقامی که میانگین زمان جوانه‌زنی کوتاه‌ترین بود، نشان‌دهنده سرعت بالاتر جوانه‌زنی و توانایی بهتر مقابله با تنش شوری است.

در بررسی اثر شوری بر جوانه‌زنی دو رقم یونجه و شبدر (Niste et al., 2015)، گزارش شد که، میانگین جوانه‌زنی روزانه با کاهش درصد جوانه‌زنی کاهش یافت و رابطه مستقیمی با درصد جوانه‌زنی داشت. رقم‌هایی که جوانه‌زنی بالاتری داشتند، میانگین جوانه‌زنی روزانه بالاتری نیز داشتند. این شاخص‌ها نشان می‌دهند که شوری نه تنها تعداد بذرهای جوانه‌زن را کاهش می‌دهد، بلکه سرعت تجمع جوانه‌ها در طول زمان را نیز کاهش می‌دهد. با افزایش شوری، میانگین زمان جوانه‌زنی افزایش یافت، به این معنی که جوانه‌ها دیرتر سبز شدند و فرآیند جوانه‌زنی کند شد. به‌طور خاص، رقم Madalina بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی و رقم Rotrif کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی را نشان دادند، که نشان‌دهنده تفاوت حساسیت گونه‌ها به شوری است.

برخلاف نتایج تحقیق حاضر، گزارش شده که میانگین زمان جوانه‌زنی شاخص مناسبی برای غربالگری تحمل شوری در بذر *Salicornia europaea* نیست، این شاخص نسبت به تنش شوری تقریباً پایدار باقی ماند و تغییر محسوسی نشان نداد. در تحلیل مؤلفه‌های اصلی نیز میانگین زمان جوانه‌زنی در موقعیتی نزدیک به صفر بارگذاری شد و ارتباطی با تنش شوری نداشت. زیرا سرعت میانگین زمان جوانه‌زنی صرف‌نظر از میزان شوری تقریباً ثابت می‌ماند و نمی‌تواند تفاوت ژنوتیپی یا اثرات تنش را منعکس کند (Moradian et al., 2024).

جوانه‌زنی در شرایط بدون تنش در اکوتیپ همدان ۳/۷ روز و بیشترین مقدار در اکوتیپ پاره ۱۲ روز در غلظت شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. به‌طور کلی با افزایش سطح شوری، روند افزایشی در میانگین زمان جوانه‌زنی مشاهده شد. در غلظت شوری ۲۵ میلی‌مولار، بالاترین میانگین زمان جوانه‌زنی در اکوتیپ ایلام به مدت ۶/۴۳ روز مشاهده شد و در غلظت شوری ۵۰ میلی‌مولار، اکوتیپ‌های نهاوند و سنندج به‌ترتیب با مقادیر ۶/۲۵ و ۷/۱۵ روز، بالاترین میانگین زمان جوانه‌زنی را نشان دادند. همچنین در ۱۰۰ میلی‌مولار، اکوتیپ نهاوند با ۸/۳۷ روز بیشترین و اکوتیپ مریوان با ۵/۹۲ روز کمترین مقدار میانگین زمان جوانه‌زنی را داشتند. در غلظت‌های ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، افزایش میانگین زمان جوانه‌زنی در بیشتر اکوتیپ‌ها مشهود بود، به‌طوریکه نهاوند و سروآباد در ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب با ۱۰ و ۱۰/۲ روز بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی را ثبت کردند. در بالاترین سطح تنش (۲۰۰ میلی‌مولار)، بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی متعلق به اکوتیپ پاره با ۱۲ روز بود، درحالی‌که اکوتیپ مریوان کمترین مقدار یعنی ۵ روز را نشان داد. این تفاوت‌ها بیانگر تنوع پاسخ اکوتیپ‌ها به شوری و وجود احتمالی مکانیسم‌های سازگاری متفاوت در جوانه‌زنی یونجه‌باغی است (جدول ۲).

میانگین جوانه‌زنی روزانه بیانگر تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز به‌طور متوسط بوده و به‌عنوان معیاری برای ارزیابی یکنواختی و سرعت جوانه‌زنی به کار می‌رود (Ranal and Garcia de Santana, 2006) و میانگین زمان جوانه‌زنی از شاخص‌های کلیدی فیزیولوژیکی به شمار می‌رود که سرعت کلی جوانه‌زنی بذر را در طول دوره جوانه‌زنی نشان می‌دهد (Bewley et al., 2013). کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی در شرایط تنش، نشان‌دهنده افت هماهنگی و کارایی فرآیند جوانه‌زنی است که معمولاً با افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه همراه می‌شود (Ranal and Garcia de Santana, 2006). افزایش میانگین زمان جوانه‌زنی بیانگر کند شدن روند جوانه‌زنی و طولانی‌تر شدن مدت زمان لازم برای سبز شدن بذر است؛ پدیده‌ای که معمولاً در اثر تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری یا دمای پایین رخ

جدول ۲- میانگین زمان جوانه‌زنی و میانگین جوانه‌زنی روزانه بذور یونجه باغی در ترکیب تیماری سطوح شوری و اکوتیپ‌های مختلف

اکوتیپ	همدان	نهادند	پاوه	سمنان	سندج	سروآباد	سقز	کرمانشاه	ایلام	مریوان
میانگین جوانه‌زنی روزانه	۰	۶/۸۶ ^{a-c}	۷/۰۵ ^a	۶/۹۵ ^{ab}	۶/۸۶ ^{a-c}	۶/۷۶ ^{a-d}	۶/۹۵ ^{ab}	۶/۹۵ ^{ab}	۶/۹۵ ^{ab}	۶/۹۵ ^{ab}
	۲۵	۶/۸۶ ^{a-c}	۷/۰۵ ^a	۶/۹۵ ^{ab}	۶/۹۵ ^{ab}	۶/۹۵ ^{ab}	۶/۹۵ ^{ab}	۶/۸۶ ^{a-c}	۶/۹۵ ^{ab}	۶/۷۶ ^{a-d}
	۵۰	۶/۸۶ ^{a-c}	۷/۰۵ ^a	۶/۲۹ ^{ef}	۷/۰۵ ^a	۶/۴۸ ^{de}	۶/۹۵ ^{ab}	۶/۷۶ ^{a-d}	۶/۷۶ ^{a-d}	۶/۵۷ ^{c-e}
	۱۰۰	۶/۵۷ ^{c-e}	۶/۸۶ ^{a-c}	۶/۴۸ ^{de}	۶/۴۸ ^{de}	۶/۵۷ ^{c-e}	۶/۷۶ ^{a-d}	۵/۸۱ ^g	۶/۷۶ ^{a-d}	۵/۴۳ ^h
	۱۵۰	۳/۷۱ ^j	۶/۷۶ ^{a-d}	۰/۸۶ ^m	۴/۵۷ ⁱ	۰/۶۷ ^{mn}	۱/۴۳ ^l	۰/۶۷ ^{mn}	۰/۸۶ ^m	۲/۱۹ ^k
	۲۰۰	۰/۲۹ ^o	۳/۴۳ ^j	۰/۳۸ ^{no}	۲/۲۹ ^k	۰/۶۷ ^{mn}	۰/۶۷ ^{mn}	۰/۳۸ ^{no}	۰/۶۷ ^{mn}	۰/۶۷ ^{mn}
میانگین زمان جوانه‌زنی	۰	۳/۷ ^{bc}	۴/۰۸ ^{z-b}	۷/۳ ^{jk}	۴/۳۱ ^{zy}	۵/۳۵ ^{u-w}	۵/۴۳ ^{uv}	۴/۸۸ ^x	۴/۷ ^{xy}	۵/۹۵ ^{q-t}
	۲۵	۴/۱۸ ^{za}	۳/۷۵ ^{a-c}	۵/۷۳ ^{s-u}	۶/۱۹ ^{o-q}	۵/۴ ^{uv}	۵/۷۱ ^{s-u}	۵/۵۲ ^{tu}	۶/۴۳ ^{n-p}	۵/۳۶ ^{uv}
	۵۰	۶/۱۳ ^{p-s}	۶/۲۵ ^{o-q}	۷/۸۹ ^{hi}	۴/۹۲ ^{wx}	۷/۱۵ ^{j-l}	۶/۷۸ ^{l-n}	۶/۰۹ ^{p-s}	۶/۶۳ ^{m-o}	۵/۷۸ ^{r-u}
	۱۰۰	۷/۰۴ ^{k-m}	۸/۳۷ ^{e-g}	۷/۳۶ ^{jk}	۵/۷۵ ^{s-u}	۸/۱۷ ^{f-h}	۷/۴۸ ^{i-k}	۷/۰۶ ^{kl}	۸ ^{gh}	۵/۹۲ ^{q-t}
	۱۵۰	۸ ^{gh}	۱۰ ^{bc}	۹ ^d	۸/۷۳ ^{de}	۷/۵ ^{ij}	۱۰/۲ ^b	۳/۶ ^c	۵/۷۵ ^{s-u}	۷/۲۲ ^{jk}
	۲۰۰	۸ ^{gh}	۸/۵۸ ^{d-f}	۱۲ ^a	۸/۲۹ ^{-h}	۹ ^d	۷/۵ ^{ij}	۹ ^d	۱۰ ^{bc}	۵ ^{cd}

در هر ستون به طور جداگانه برای هر شاخص، میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

سرعت جوانه‌زنی روزانه و ضریب سرعت جوانه‌زنی

سرعت جوانه‌زنی روزانه در شرایط بدون تنش (صفر میلی‌مولار) در اکوتیپ همدان بیشترین مقدار ۰/۲۸ را داشت که با افزایش غلظت شوری تا ۱۵۰ میلی‌مولار به‌طور پیوسته کاهش یافته و در ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به حداقل مقدار ۰/۱۳ رسید. روند مشابهی در اکوتیپ‌های نهادند، سندج و سروآباد نیز دیده شد که با افزایش شوری، سرعت جوانه‌زنی روزانه کاهش یافته است. در مقابل، اکوتیپ‌هایی مانند پاوه و مریوان در برخی سطوح شوری تغییرات غیرمعمولی داشتند، در اکوتیپ پاوه سرعت جوانه‌زنی روزانه از ۰/۱۴ در شرایط بدون تنش به ۰/۱۸ در ۲۵ میلی‌مولار افزایش و سپس به ۰/۰۸ در ۲۰۰ میلی‌مولار کاهش یافت. همچنین اکوتیپ مریوان در ۲۰۰ میلی‌مولار نسبت به سطوح پایین‌تر شوری، افزایش جزئی در سرعت جوانه‌زنی روزانه نشان داد. ضریب سرعت جوانه‌زنی در اکثر اکوتیپ‌ها در سطوح پایین تا متوسط شوری (۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار) مقادیر ثابتی در حدود ۰/۱۴ تا ۰/۱۸ داشت. با افزایش غلظت شوری به ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، در برخی اکوتیپ‌ها مانند همدان، پاوه و کرمانشاه افزایش قابل توجهی مشاهده شد، ضریب سرعت جوانه‌زنی در همدان از ۰/۱۵ در شرایط بدون تنش به ۳/۵ در ۲۰۰ میلی‌مولار رسید. همچنین

اکوتیپ پاوه در ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب مقادیر ۱/۱۷ و ۳/۵ و اکوتیپ کرمانشاه در همین سطوح به ترتیب ۱/۷۵ و ۳/۵ را ثبت کردند که حاکی از افزایش ضریب سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش بالا است. اکوتیپ‌هایی مانند نهادند، سمنان و سقز تغییرات کمتری در ضریب سرعت جوانه‌زنی داشتند و مقادیر آنها حتی در سطوح بالای شوری همچنان پایین باقی ماند. این تفاوت‌ها نشان‌دهنده وجود واکنش‌های متفاوت اکوتیپ‌ها به تنش شوری است که احتمالاً به سازگاری ژنتیکی و توانایی تحمل تنش هر اکوتیپ بستگی دارد. به طور کلی، افزایش شوری منجر به کاهش سرعت جوانه‌زنی روزانه در اکثر اکوتیپ‌ها شد، اما ضریب سرعت جوانه‌زنی در برخی اکوتیپ‌ها و سطوح شوری بالا افزایش یافت که می‌تواند بیانگر پاسخ‌های پیچیده و غیرخطی جوانه‌زنی در شرایط تنش باشد (جدول ۳). سرعت روزانه جوانه‌زنی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی مقاومت به تنش محیطی در مرحله جوانه‌زنی است، زیرا افزایش این سرعت، شانس استقرار موفق گیاهچه را بیشتر می‌کند و ضریب سرعت جوانه‌زنی، نمایانگر میانگین سرعت جوانه‌زنی در کل جمعیت بذرهاست. ارقام مقاوم به تنش می‌توانند حتی در شرایط محدودیت آب، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی خود را حفظ کنند (AghighiShahverdikandi et al., 2011).

نتایج پژوهشی نشان داد که سرعت جوانه‌زنی روزانه دو رقم یونجه و شبدر در غلظت‌های پایین شوری نسبتاً ثابت یا کمی افزایش یافت، زیرا بذرهایی که توانستند جوانه بزنند، سریع‌تر این کار را انجام دادند، اما با افزایش شوری، سرعت جوانه‌زنی روزانه به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. در عین حال، ضریب سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت که بیانگر عدم یکنواختی و پراکندگی زمان جوانه‌زنی در میان بذرها بود. افزایش ضریب سرعت جوانه‌زنی نشان می‌دهد که شوری سبب نامنظمی در فرآیند جوانه‌زنی و تنش وارده به گیاهچه‌ها می‌شود. گونه‌های مقاوم‌تر توانستند ضریب سرعت جوانه‌زنی پایین‌تری نسبت به گونه‌های حساس‌تر حفظ کنند (Niste et al., 2015). همچنین در پژوهشی بر روی *Salicornia europaea* ضریب سرعت جوانه‌زنی

به‌عنوان شاخصی حساس و مناسب برای ارزیابی تحمل بذرها نسبت به شوری معرفی شد. به‌عبارت دیگر، کاهش ضریب سرعت جوانه‌زنی بیانگر کندشدن فرایند جوانه‌زنی در اثر شوری است و می‌تواند به‌خوبی تفاوت اکوتیپ‌ها یا ژنوتیپ‌ها را در شرایط تنش آشکار کند. دلیل این امر این است که ضریب سرعت جوانه‌زنی به‌شدت تحت تأثیر شوری قرار گرفته و با افزایش غلظت کلرید سدیم کاهش معنی‌دار پیدا کرده است و این شاخص همراه با شاخص‌های جوانه‌زنی (درصد جوانه‌زنی، انرژی و ارزش جوانه‌زنی) در تحلیل مؤلفه‌های اصلی همبستگی منفی قوی با تنش شوری نشان داد (Moradian et al., 2024).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر سرعت جوانه‌زنی روزانه و ضریب سرعت جوانه‌زنی.

اکوتیپ	همدان	نهادند	پاوه	سمنان	سنندج	سروآباد	سقز	کرمانشاه	ایلام	مریوان
۰	۰/۲۸ ^{ab}	۰/۲۵ ^c	۰/۱۴ ^{m-}	۰/۲۳ ^d	۰/۱۹ ^f	۰/۱۹ ^{fg}	۰/۱۶ ^{ij}	۰/۲۱ ^e	۰/۲۱ ^e	۰/۱۷ ^{hi}
۲۵	۰/۲۴ ^{dc}	۰/۲۷ ^b	۰/۱۸ ^{gh}	۰/۱۶ ^{ij}	۰/۱۹ ^f	۰/۱۸ ^{f-h}	۰/۱۴ ^{no}	۰/۱۸ ^{f-h}	۰/۱۶ ^{jk}	۰/۱۹ ^f
۵۰	۰/۱۶ ^{ij}	۰/۱۶ ^{ij}	۰/۱۳ ^{op}	۰/۲۱ ^e	۰/۱۴ ^{m-}	۰/۱۵ ^{k-}	۰/۱۶ ^{jk}	۰/۱۶ ^{ij}	۰/۱۵ ^{l-}	۰/۱۷ ^{hi}
۱۰۰	۰/۱۴ ^{l-n}	۰/۱۲ ^{pq}	۰/۱۴ ^{m-}	۰/۱۷ ^{hi}	۰/۱۲ ^{pq}	۰/۱۴ ^{no}	۰/۱۴ ^{m-}	۰/۱۴ ^{l-n}	۰/۱۳ ^{op}	۰/۱۷ ^{hi}
۱۵۰	۰/۱۳ ^{op}	۰/۱ ^r	۰/۱۱ ^{qr}	۰/۱۱ ^{qr}	۰/۱۴ ^{no}	۰/۱ ^r	۰/۱۱ ^{qr}	۰/۲۸ ^a	۰/۱۷ ^{hi}	۰/۱۴ ^{m-}
۲۰۰	۰/۱۳ ^{op}	۰/۱۲ ^{pq}	۰/۰۸ ^s	۰/۱۲ ^{pq}	۰/۱۱ ^{qr}	۰/۱۴ ^{no}	۰/۱ ^r	۰/۱۱ ^{qr}	۰/۱ ^r	۰/۲ ^e
تنش شوری	۰	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ
۲۵	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ
۵۰	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۶ ^{hi}	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۵ ⁱ
۱۰۰	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۴ ⁱ	۰/۱۷ ^{hi}	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۷ ^{hi}	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۸ ^{hi}	۰/۱۵ ⁱ	۰/۱۸ ^{hi}
۱۵۰	۰/۲۷ ^{fg}	۰/۱۵ ⁱ	۱/۱۷ ^c	۰/۲۲ ^{gh}	۱/۷۵ ^b	۰/۷ ^d	۰/۲۷ ^{fg}	۱/۷۵ ^b	۱/۱۷ ^c	۰/۴۴ ^e
۲۰۰	۳/۵ ^a	۰/۲۹ ^f	۳/۵ ^a	۰/۴۴ ^e	۱/۷۵ ^b	۱/۷۵ ^b	۱/۱۷ ^c	۳/۵ ^a	۱/۷۵ ^b	۱/۷۵ ^b

برای هر صفت، میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و شاخص بنیه بذر

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه نشان داد که افزایش غلظت کلرید سدیم موجب کاهش معنی‌دار طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و طول کل گیاهچه در تمامی اکوتیپ‌های یونجه‌باغی شد. در شوری ۲۵ میلی-مولار، تمامی اکوتیپ‌ها نسبت به شاهد و سایر سطوح شوری دارای بیشترین طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه

بودند. با افزایش شوری از صفر تا ۲۰۰ میلی-مولار، طول این اندام‌ها به کمتر از یک‌سوم مقدار اولیه کاهش یافت. به‌طور خاص، طول ریشه‌چه اکوتیپ نهادند از ۹/۵ سانتی‌متر در شاهد به ۳ سانتی‌متر و طول ساقه‌چه از ۱/۸ به ۰/۸ سانتی‌متر رسید. روند مشابهی در سایر اکوتیپ‌ها مشاهده شد که نشان‌دهنده حساسیت عمومی این گونه به شوری است. به‌طور کلی، افزایش تنش شوری موجب کاهش رشد طولی ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه در تمام اکوتیپ‌ها شد

که نشان‌دهنده اثر منفی شوری بر رشد جوانه‌زنی و توسعه اولیه گیاه یونجه است. این کاهش رشد ممکن است ناشی از اختلال در جذب آب و مواد مغذی و تجمع یون‌های سمی در بافت‌های گیاهی باشد. تفاوت مقادیر کاهش بین اکوتیپ‌ها نیز بیانگر نقش تنوع ژنتیکی در تعیین میزان تحمل شوری است و می‌تواند مبنایی برای انتخاب اکوتیپ‌های مقاوم‌تر در برنامه‌های اصلاحی باشد (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های (Bhardwaj et al., 2010; Wu et al., 2010; Soltani1 et al., 2012; Mbarki et al., 2020) همخوانی دارد.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه یونجه‌باگی در غلظت‌های بالای کلرید سدیم به شدت کاهش می‌یابد و بیشترین اثر مهاری در ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده می‌شود. مکانیسم این کاهش طول به‌طور عمده ناشی از کاهش پتانسیل اسمزی محلول و محدود شدن جذب آب در سلول‌های مریستم ریشه و ساقه است. علاوه بر این، ورود یون‌های سدیم و کلر به بافت‌ها می‌تواند منجر به سمیت یونی و اختلال در تقسیم و طول‌شدن سلول‌ها شود (Wu et al., 2011; Ahmadi et al., 2023). افزایش شوری سبب کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در دو رقم یونجه و شبدر شد. ارقام یونجه بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را در شرایط کنترل نشان دادند، در حالی که ارقام شبدر کوتاه‌ترین طول را داشتند. با افزایش غلظت کلرید سدیم، رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش چشمگیری پیدا کرد و در بالاترین شوری (۳۰۰ میلی‌مولار) بسیاری از گیاهچه‌ها قادر به رشد طبیعی نبودند. کاهش طول ریشه‌چه نشان‌دهنده محدودیت در جذب آب و مواد مغذی است، در حالی که کاهش طول ساقه‌چه اثر منفی شوری بر رشد کل گیاهچه را منعکس می‌کند (Niste et al., 2015). شاخص بنیه بذر تحت تاثیر اثر متقابل تنش شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باگی قرار گرفت. نتایج نشان داد در شرایط بدون تنش (صفر میلی‌مولار)، اکوتیپ نهانوند با مقدار ۱۱/۱۷ بیشترین بنیه بذر را نشان داد، در حالی که اکوتیپ مریوان با ۵/۸۳ کمترین مقدار را داشت. با افزایش غلظت شوری، شاخص بنیه بذر در تمامی اکوتیپ‌ها کاهش قابل‌توجهی یافت. به‌طور مثال، اکوتیپ نهانوند از ۱۲/۴ در ۲۵ میلی‌مولار به ۱/۸۷ در ۲۰۰ میلی‌مولار کاهش یافت. روند مشابهی در سایر اکوتیپ‌ها

مشاهده شد. این کاهش چشمگیر بنیه بذر بیانگر تأثیر منفی شوری بر کیفیت و قدرت جوانه‌زنی بذور یونجه است که می‌تواند ناشی از اختلالات متابولیکی، کاهش جذب آب و تجمع یون‌های مضر در بافت بذر باشد. تفاوت میزان کاهش بین اکوتیپ‌ها نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی آنها در تحمل تنش شوری است. به‌طور کلی، افزایش غلظت شوری سبب کاهش معنی‌دار شاخص بنیه بذر در همه اکوتیپ‌ها شد، که این موضوع اهمیت انتخاب اکوتیپ‌های مقاوم‌تر برای کشت در مناطق شور را نشان می‌دهد (جدول ۳). نتایج این پژوهش با یافته‌های (Bhardwaj et al., 2010; Soltani1 et al., 2012) همسو می‌باشد که بیان داشتند، شاخص بنیه بذر نیز تحت تأثیر شوری کاهش معنی‌داری داشت و کاهش شاخص بنیه بذر در اثر شوری ممکن است به اختلال در متابولیسم بذر و کاهش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی مربوط باشد.

وزن خشک گیاهچه و ضریب آلومتریکی

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک گیاهچه در تمام اکوتیپ‌های یونجه باگی شد. این کاهش با افزایش غلظت کلرید سدیم از ۵۰ میلی‌مولار به بالا، شدت بیشتری یافت. در شرایط بدون تنش، اکوتیپ‌های نهانوند و سمنان بیشترین وزن خشک گیاهچه (به ترتیب ۰/۰۸۹ و ۰/۰۸۷ گرم) و اکوتیپ‌های ایلام و مریوان کمترین وزن خشک (۰/۰۵۵ و ۰/۰۵۲ گرم) را داشتند. در سطح شوری ۲۵ میلی‌مولار، اکثر اکوتیپ‌ها افزایش وزن خشک محسوسی را نشان دادند که می‌تواند نشانگر تحمل نسبی یا سازگاری در این شرایط باشد. اما از غلظت ۵۰ میلی‌مولار به بالا، کاهش وزن خشک در تمامی اکوتیپ‌ها به‌طور چشمگیری مشاهده شد (جدول ۵). این یافته‌ها با نتایج (Wu et al., 2011; Mbarki et al., 2020) همسو است. یونجه‌باگی به تنش شوری پاسخ منفی شدیدی نشان داده و کاهش وزن خشک گیاهچه در سطوح بالاتر کلرید سدیم به دلیل اثرات اسمزی و احتمالا سمیت یونی مطرح شده است. اثر تنش شوری در کاهش رشد گیاهچه بیانگر نقش مهم فشار اسمزی ناشی از شوری در محدود کردن جذب آب و رشد اولیه گیاه است (Wu et al., 2011).

جدول ۴- میانگین طول ریشه چه، طول ساقه چه و طول گیاهچه یونجه باغی در ترکیب تیماری شوری و اکوتیپ‌ها.

اکوتیپ	همدان	نهادند	پاوه	سمنان	سنندج	سروآباد	سقز	کرمانشاه	ایلام	مریوان
طول ریشه چه (سانتی متر)	۰	۵/۷ ^{n-q}	۹/۵ ^b	۸/۸ ^{cd}	۶/۸ ^j	۸/۴ ^{ed}	۵/۶ ^{o-q}	۷/۶ ^{gh}	۵/۴ ^{p-r}	۵/۱ ^{r-t}
۲۵	۶ ^{l-n}	۱۰/۱ ^a	۶ ^{l-n}	۹/۵ ^b	۷/۳ ^{hi}	۹/۱ ^{bc}	۵/۹ ^{m-o}	۸/۲ ^{ef}	۵/۷ ^{n-q}	۵/۴ ^{p-s}
۵۰	۵ st	۸/۹ ^c	۵/۳ ^{q-s}	۸/۴ ^{ef}	۶/۲ ^{lm}	۸ ^{fg}	۴/۸ ^{tu}	۷ ^{ij}	۴/۶ ^{uv}	۴/۴ ^{vw}
۱۰۰	۳/۵ ^{yz}	۷/۷ ^g	۳/۹ ^x	۶/۷ ^{jk}	۴/۸ ^{tu}	۶/۳ ^{kl}	۳/۵ ^{yz}	۵/۶ ^{n-q}	۲/۶ ^{bc}	۳/۲ ^z
۱۵۰	۲ ^{de}	۴/۸ ^{tu}	۲/۲ ^{cd}	۴ ^{wx}	۲/۸ ^{ab}	۳/۷ ^{xy}	۱/۸ ^{ef}	۳/۲ ^z	۱/۷ ^{ef}	۱/۷ ^{ef}
۲۰۰	۱/۳ ^{gh}	۳ ^{za}	۱/۵ ^{fg}	۲/۵ ^{bc}	۱/۷ ^{e-g}	۲/۲ ^{cd}	۱ ^h	۱/۹ ^{d-f}	۰/۹ ^h	۱ ^h
طول ساقه چه (سانتی متر)	۰	۱ ^{lm}	۱/۸ ^c	۱/۳ ⁱ	۱/۴ ^{fg}	۱/۷ ^d	۰/۹ ^{n-p}	۱/۵ ^{ef}	۰/۹ ^{op}	۰/۹ ^{op}
۲۵	۱ ^{kl}	۲/۴ ^a	۱/۳ ^h	۱/۹ ^b	۱/۵ ^e	۱/۸ ^c	۱ ^{kl}	۱/۶ ^d	۱ ^{l-n}	۰/۹ ^{m-p}
۵۰	۱ ^{kl}	۱/۹ ^b	۱/۱ ^{jk}	۱/۶ ^d	۱/۳ ^h	۱/۵ ^{e-g}	۰/۹ ^{n-p}	۱/۴ ^g	۰/۹ ^{op}	۰/۷ ^v
۱۰۰	۰/۹ ^{n-p}	۱/۲ ⁱ	۰/۹ ^{pq}	۱/۲ ⁱ	۱ ^{lm}	۱/۱ ^j	۰/۸ ^{q-s}	۱ ^{kl}	۰/۸ ^{s-u}	۰/۶ ^w
۱۵۰	۰/۹ ^{p-r}	۱/۱ ^j	۰/۸ ^{r-t}	۱ ^{kl}	۰/۸ ^{q-s}	۱ ^{l-n}	۰/۸ ^{s-u}	۰/۹ ^{pq}	۰/۷ ^{u-w}	۰/۶ ^{xy}
۲۰۰	۰/۶ ^{wx}	۰/۸ ^{q-s}	۰/۵ ^{yz}	۰/۸ ^{q-s}	۰/۷ ^{vw}	۰/۸ ^{r-t}	۰/۷ ^{u-w}	۰/۸ ^{s-v}	۰/۷ ^{vw}	۰/۵ ^z
طول گیاهچه (سانتی متر)	۰	۶/۷ ^{r-q}	۱۱/۳ ^{bc}	۷ ^{o-q}	۱۰/۶ ^{ed}	۸/۲ ^{kl}	۱۰/۱ ^{ef}	۶/۵ ^{r-t}	۹/۱ ^{hi}	۶ ^{uv}
۲۵	۷ ^{o-q}	۱۲/۵ ^a	۷/۴ ^{n-p}	۱۱/۴ ^b	۸/۸ ^{ij}	۱۰/۹ ^{cd}	۶/۹ ^{p-r}	۹/۸ ^{fg}	۶/۷ ^{r-q}	۶/۳ ^{s-u}
۵۰	۶ ^{t-v}	۱۰/۸ ^{cd}	۶/۴ ^{s-u}	۱۰ ^f	۷/۵ ^{mn}	۹/۴ ^{gh}	۵/۷ ^{vw}	۸/۴ ^{jk}	۵/۵ ^{wx}	۵/۱ ^{xy}
۱۰۰	۴/۴ ^{z-b}	۸/۹ ^{hi}	۴/۸ ^{yz}	۷/۹ ^{lm}	۵/۸ ^{vw}	۷/۴ ^{m-o}	۴/۳ ^{a-c}	۶/۶ ^{r-q}	۳/۶ ^{d-f}	۳/۹ ^{c-e}
۱۵۰	۲/۸ ^{g-i}	۵/۹ ^{u-w}	۳ ^{gh}	۵ ^{xy}	۳/۶ ^{ef}	۴/۷ ^{y-a}	۲/۶ ^{h-j}	۴/۱ ^{b-d}	۲/۴ ^{i-k}	۲/۲ ^{j-l}
۲۰۰	۱/۹ ^{l-n}	۳/۸ ^{c-e}	۲ ^{k-m}	۳/۳ ^{fg}	۲/۴ ^{i-l}	۳ ^{gh}	۱/۷ ^{mn}	۲/۶ ^{h-j}	۱/۶ ^{mn}	۱/۵ ⁿ
اکوتیپ	۰	۶/۴ ^{l-q}	۱۱/۱ ^{v^b}	۶/۸ ^{l-n}	۱۰/۴ ^{cd}	۸/۰ ^{hi}	۹/۷ ^e	۶/۱ ^{h-r}	۸/۸ ^{v^{fg}}	۵/۸ ^{h-r}
۲۵	۶/۷ ^{l-o}	۱۲/۳ ^a	۷ ^{kl}	۱۱/۲ ^{v^b}	۸/۶ ^{gh}	۱۰/۶ ^{bc}	۶/۷ ^{k-o}	۹/۴ ^{ef}	۶/۵ ^{l-p}	۶/۰ ^{h-r}
۵۰	۵/۸ ^{r-t}	۱۰/۶ ^{bc}	۵/۶ ^{r-t}	۹/۸ ^{de}	۶/۱۱ ^{h-r}	۹/۲ ^{e-g}	۵/۵ ^{r-u}	۷/۸ ^{v^{ij}}	۵/۱ ^{t-v}	۴/۷ ^{vw}
۱۰۰	۴/۰ ^{wx}	۸/۶ ^{gh}	۴ ^{wx}	۷/۲ ^{jk}	۴/۹ ^{uv}	۶/۸ ^{v^{k-m}}	۴/۰ ^{wx}	۵/۴ ^{s-v}	۳/۴ ^{xy}	۲/۹ ^{xy}
۱۵۰	۱/۵ ^{za}	۵/۵ ^{r-u}	۰/۴ ^{c-e}	۳/۲ ^{xy}	۰/۳ ^{c-e}	۰/۹ ^{a-d}	۱/۳ ^{z-b}	۰/۳ ^{c-e}	۰/۳ ^{de}	۰/۷ ^{b-e}
۲۰۰	۰/۱ ^e	۱/۸ ^{v^z}	۰/۱ ^h	۱/۰ ^{a-c}	۰/۲ ^{de}	۰/۲ ^{de}	۰/۲ ^{de}	۰/۱ ^h	۰/۱ ^h	۰/۱ ^h

در هر ستون برای هر شاخص به طور جداگانه، میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۱ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

مناطق شور می‌باشد. به طور کلی، نتایج تأکید می‌کند که تنش شوری اثر منفی قابل توجهی بر رشد اولیه و توسعه گیاهچه یونجه‌باغی دارد و انتخاب اکوتیپ‌های مقاوم می‌تواند راهکاری موثر در بهبود عملکرد این گونه در خاک‌های شور باشد. نتایج ضریب الومتریک نشان داد که با افزایش شوری، مقادیر این شاخص در همه اکوتیپ‌های یونجه روندی کاهشی داشت، اگرچه الگوی تغییرات در سطوح پایین شوری (۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار) در برخی اکوتیپ‌ها نوسانات جزئی نشان داد. در شرایط بدون تنش، بیشترین مقدار ضریب الومتریک مربوط به اکوتیپ سقز (۴/۷۶) و کمترین مقدار مربوط به اکوتیپ سنندج (۴/۷۶)

کاهش وزن خشک گیاهچه ناشی از تنش شوری احتمالاً به دلیل محدودیت جذب آب، کاهش فتوسنتز و اختلال در تخصیص مواد پرورده به اندام‌های هوایی و زیرزمینی است. با این حال، عملکرد بهتر اکوتیپ‌های نهادند، سمنان و سروآباد نسبت به سایر اکوتیپ‌ها نشان‌دهنده توانایی بالاتر این جمعیت‌ها در مقابله با اثرات منفی شوری و تحمل نسبی آنها است که می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی و انتخاب اکوتیپ‌های مقاوم به شوری مورد استفاده قرار گیرد. در مقابل، اکوتیپ‌های مریوان، ایلام و سقز کاهش شدیدتری در وزن خشک گیاهچه داشتند که نشان‌دهنده حساسیت بالاتر آنها به شوری و نیاز به مدیریت خاص در کشت در

آن است که ضریب الومتریکی به عنوان شاخصی برای ارزیابی تغییرات تخصیص بیوماس تحت تنش شوری می تواند در شناسایی اکوتیپ های با رشد متوازن تر و پایداری بیشتر مؤثر واقع شود. نتایج تحقیق (Sofi et al., 2018)، نیز نشان داد که افزایش غلظت شوری سبب کاهش قابل توجهی در ضریب آلومتریکی گیاهچه های یونجه شد، به طوری که تخصیص مواد به اندام های مختلف گیاه محدود گردید و رشد ریشه و ساقه کاهش یافت. این کاهش ضریب آلومتریکی نشان دهنده تأثیر منفی فشار اسمزی و سمیت یونی ناشی از یون های سدیم و کلراید بر توسعه اولیه گیاه است.

بود. در سطح ۲۵ میلی مولار، تغییرات اندکی مشاهده شد و حتی در برخی اکوتیپ ها مانند پاه و مریوان، افزایش خفیفی نسبت به شاهد دیده شد. با این حال، از سطح ۵۰ میلی مولار به بعد، روند کاهش آشکار شد. شدت کاهش ضریب الومتریکی بین اکوتیپ ها متفاوت بود، اکوتیپ های نهالوند، سمنان و سروآباد توانستند مقادیر بالاتری را تا سطوح میانی شوری حفظ کنند، در حالی که اکوتیپ های سقز، ایلام و سنندج افت بیشتری نشان دادند (جدول ۵). این کاهش می تواند بیانگر محدودیت رشد متوازن بین بخش های هوایی و زیرزمینی در اثر تنش شوری باشد، به طوری که گیاهچه ها نسبت به توزیع زیست توده بین ساقه و ریشه دچار عدم تعادل می شوند. به طور کلی، نتایج بیانگر

جدول ۵- میانگین وزن خشک گیاهچه و ضریب آلومتریکی یونجه باغی در ترکیب تیماری تنش شوری و اکوتیپ های مختلف.

وزن خشک ۱۵ گیاهچه (گرم)										
اکوتیپ	همدان	نهالوند	پاه	سمنان	سنندج	سروآباد	سقز	کرمانشاه	ایلام	مریوان
.	۰/۰۶۳ ^{m-}	۰/۰۸۹ ^{cd}	۰/۰۶۸ ^{k-}	۰/۰۸۷ ^{de}	۰/۰۷۲ ^{j-l}	۰/۰۸۳ ^{e-g}	۰/۰۵۸ ^{o-r}	۰/۰۷۴ ^{h-j}	۰/۰۵۵ ^{q-t}	۰/۰۵۳ ^{s-u}
۲۵	۰/۰۶۶ ^{mn}	۰/۱۰۴ ^a	۰/۰۷۲ ^{j-l}	۰/۱۰۱ ^a	۰/۰۷۹ ^{f-h}	۰/۰۹۵ ^b	۰/۰۶۰ ^{o-q}	۰/۰۸۲ ^{e-g}	۰/۰۵۶ ^{q-s}	۰/۰۵۳ ^{s-u}
۵۰	۰/۰۶۲ ^{n-p}	۰/۰۹۳ ^{bc}	۰/۰۶۷ ^{l-n}	۰/۰۸۹ ^{cd}	۰/۰۷۲ ^{j-l}	۰/۰۸۴ ^{d-f}	۰/۰۵۷ ^{p-s}	۰/۰۷۴ ^{h-j}	۰/۰۵۳ ^{r-u}	۰/۰۵ ^{t-v}
۱۰۰	۰/۰۴۳ ^{w-}	۰/۰۷۸ ^{g-i}	۰/۰۴۹ ^{uv}	۰/۰۷۳ ^{i-k}	۰/۰۵۳ ^{r-u}	۰/۰۶۸ ^{k-}	۰/۰۳۹ ^{y-a}	۰/۰۵۹ ^{o-}	۰/۰۳۵ ^{a-d}	۰/۰۳ ^{d-f}
۱۵۰	۰/۰۲۹ ^{e-g}	۰/۰۵۶ ^{q-s}	۰/۰۳۳ ^{b-e}	۰/۰۴۸ ^{u-}	۰/۰۳۶ ^{z-c}	۰/۰۴۵ ^{v-}	۰/۰۲۸ ^{e-h}	۰/۰۳۹ ^{y-a}	۰/۰۲۵ ^{f-j}	۰/۰۲۳ ^{h-}
۲۰۰	۰/۰۲۴ ^{g-j}	۰/۰۴۳ ^{w-}	۰/۰۲۶ ⁻ⁱ	۰/۰۴۱ ^{x-z}	۰/۰۲۹ ^{e-g}	۰/۰۳۸ ^{v-}	۰/۰۲۱ ^{i-k}	۰/۰۳۲ ^{c-e}	۰/۰۲ ^k	۰/۰۱۸ ^k
ضریب آلومتریکی										
.	۵/۸۱ ^f	۵/۲۹ ^j	۴/۸۴ ^q	۵/۰۴ ^{l-n}	۴/۷۶ ^r	۵/۰۴ ^{l-n}	۶/۲۱ ^b	۵/۰۸ ^l	۶/۱۸ ^b	۵/۸۱ ^f
۲۵	۶/۰۳ ^c	۴/۲۱ ^w	۴/۶۲ ^{tu}	۵/۰۴ ^{l-n}	۴/۸۴ ^q	۵/۰۴ ^{l-n}	۵/۲۱ ^k	۵/۰۱ ⁿ	۵/۹۶ ^d	۵/۸۷ ^e
۵۰	۴/۹۶ ^o	۴/۶۴ ^t	۵/۰۶ ^{lm}	۵/۲۳ ^k	۴/۷ ^s	۵/۵ ^h	۵/۳۴ ⁱ	۵/۰۲ ^{mn}	۵/۲۱ ^k	۶/۰۵ ^c
۱۰۰	۳/۸۴ ^z	۶/۴۵ ^a	۴/۶ ^u	۵/۶۱ ^g	۴/۹۱ ^p	۵/۶۵ ^g	۴/۳۲ ^v	۵/۶۴ ^g	۳/۴ ^c	۵/۰۳ ^{mn}
۱۵۰	۲/۳ ^j	۴/۳۶ ^v	۲/۸۸ ^f	۴/۰۵ ^x	۳/۴۵ ^b	۳/۹ ^y	۲/۳۵ ⁱ	۳/۶۶ ^a	۲/۴۵ ^h	۳/۰۸ ^d
۲۰۰	۲ ^l	۳/۸۱ ^z	۲/۹۵ ^e	۳/۰۷ ^d	۲/۴۶ ^{gh}	۲/۸۶ ^f	۱/۴ ^m	۲/۵ ^g	۱/۳۲ ⁿ	۲/۰۵ ^k

برای هر صفت، میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار با یکدیگر ندارند.

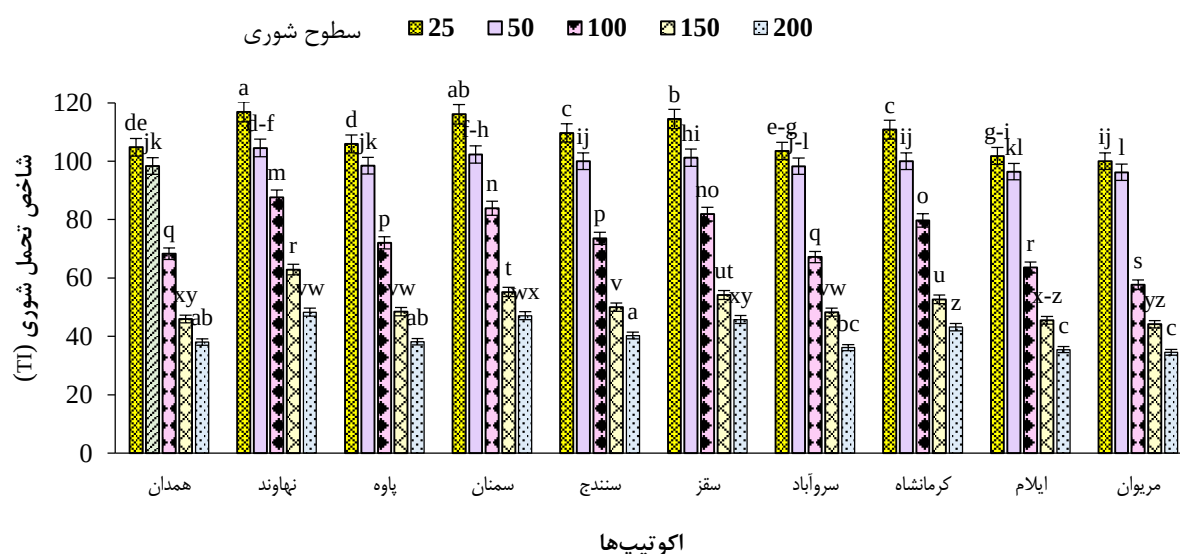
شاخص تحمل شوری (TI) و شاخص حساسیت به شوری (SI)

ایلام و مریوان کمترین مقدار TI را داشتند و بیشترین حساسیت را نشان دادند. سایر اکوتیپ ها مانند سنندج، کرمانشاه و سقز محدوده متوسط قرار گرفتند (شکل ۳). نتایج شاخص حساسیت به شوری بر اساس کاهش وزن خشک (SIDW) (شکل ۴) نشان داد که با افزایش غلظت نمک، کاهش وزن خشک در همه اکوتیپ ها به طور قابل توجهی افزایش یافت. در غلظت های پایین شوری (۲۵ میلی مولار)، تمام اکوتیپ ها با داشتن مقادیر مثبت SI توانستند رشد خود را بهتر از سایر غلظت ها حفظ کند. اکوتیپ های نهالوند (۱۰/۶۲)، سمنان (۷/۹۶) و سروآباد

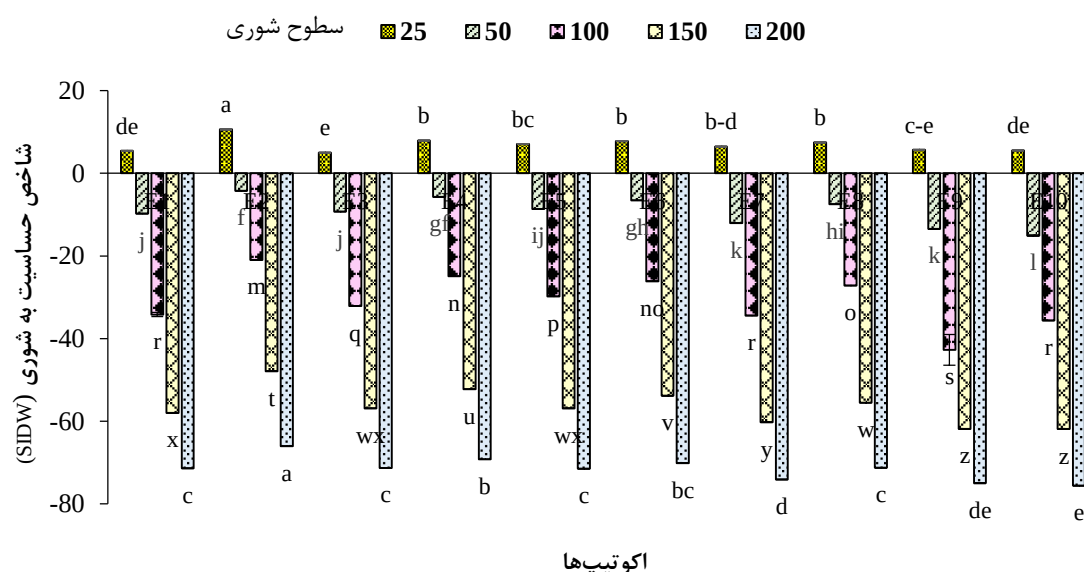
نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و اکوتیپ های مختلف یونجه باغی بر شاخص تحمل شوری (شکل ۳) نشان داد که با افزایش غلظت شوری از ۲۵ تا ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، شاخص تحمل در تمام اکوتیپ ها کاهش یافت، اما شدت کاهش در اکوتیپ ها متفاوت بود. شاخص تحمل نشان داد که اکوتیپ نهالوند در همه سطوح شوری بالاترین مقدار TI را دارد و رشد گیاهچه را نسبت به سایر اکوتیپ ها بهتر حفظ کرده است. پس از آن اکوتیپ های سمنان و سروآباد رتبه های بعدی قرار گرفتند. اکوتیپ های

خشک گیاهچه‌ها در سطوح بالاتر کلرید سدیم احتمالاً ناشی از اثرات اسمزی و سمیت یونی است و نشان‌دهنده نقش مهم فشار اسمزی در محدود کردن جذب آب و رشد اولیه گیاه می‌باشد. جمعیت یونجه با عملکرد بهتر نسبت به سایر جمعیت‌ها نشان‌دهنده توانایی بالاتر آنها در مقابله با اثرات منفی شوری و تحمل نسبی آنها است و می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی و انتخاب جمعیت‌های مقاوم مورد استفاده قرار گیرند. به‌طور کلی در این تحقیق، تغییرات هر دو شاخص نشان داد که اکوتیپ نه‌اوند بیشترین توان سازگاری و تحمل به شوری را داراست، اکوتیپ‌های سمنان و سروآباد در سطح متوسط قرار دارند و اکوتیپ‌های ایلام و مریوان بیشترین حساسیت به شوری در مرحله گیاهچه‌ای را نشان دادند.

(۷/۷۵) در سطح شوری (۲۵ میلی‌مولار) شاخص مطلوبی داشتند، در حالی که اکوتیپ‌های ایلام (۵/۷) و مریوان (۵/۵۲) افت بیشتری در SI نشان دادند. با افزایش شوری به ۲۰۰ میلی‌مولار، مقدار SI در همه اکوتیپ‌ها منفی شد و بیشترین کاهش رشد را اکوتیپ مریوان با شاخص SI برابر (۷۵/۵۹-) داشت (شکل ۴). این یافته‌ها با نتایج گزارش‌شده توسط (Mbarki et al., 2020) بر روی جمعیت‌های مختلف یونجه همسو است که شاخص حساسیت به شوری بر اساس کاهش وزن خشک (SIDW) نشان داد، یک جمعیت یونجه بیشترین تحمل را در مرحله گیاهچه‌ای دارد و حتی در غلظت‌های پایین شوری رشد آن نسبت به کنترل افزایش یافته است که تمام اکوتیپ‌های تحقیق حاضر در شوری ۲۵ میلی‌مولار افزایش را نشان دادند. دو جمعیت یونجه تحمل متوسطی نشان دادند، در حالی که برخی از جمعیت‌های یونجه در سطوح بالاتر شوری حساس‌تر بودند. کاهش وزن



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر شاخص تحمل شوری (TI) میله‌ها نشان‌دهنده میانگین $\pm$ خطای استاندارد (SE) براساس سه تکرار ($n=3$) هستند.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر شاخص حساسیت به شوری بر اساس کاهش وزن خشک (SIDW). میله‌ها نشان‌دهنده میانگین $\pm$ خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار ($n=3$) هستند.

شکل ۵، بای پلات دو بعدی بر اساس PC1 و PC2 است که توزیع اکوتیپ‌ها و ارتباط آن‌ها با صفات کلیدی را نشان می‌دهد. اکوتیپ‌هایی که در بخش مثبت هر دو مؤلفه قرار گرفته‌اند، با عملکرد بالای درصد جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه، عملکرد رشدی و توان جوانه‌زنی مناسبی در سطوح پایین تا متوسط شوری را نشان دادند. در مقابل، اکوتیپ‌های که در نواحی منفی PC1 و PC2 قرار دارند، حساسیت بیشتری به شوری از خود نشان داده و کاهش رشد گیاهچه‌ها و شاخص بنیه بذری مشاهده شد.

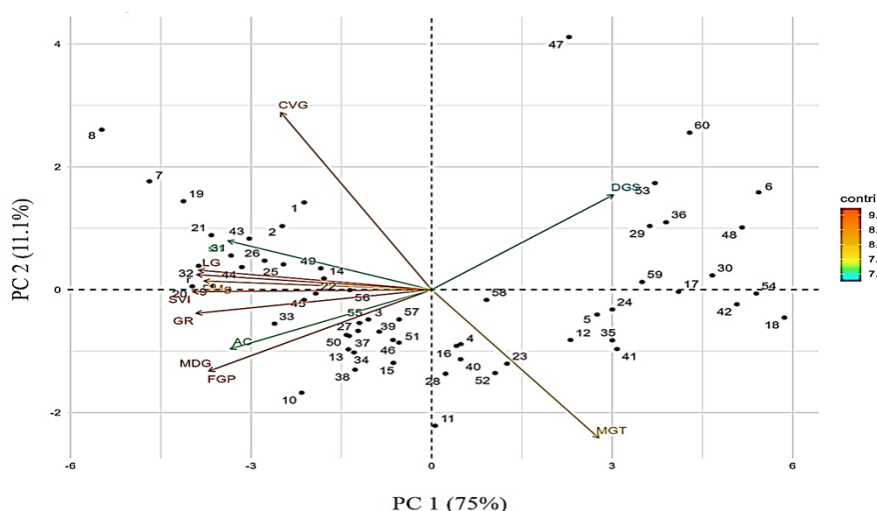
جهت و طول بردارهای صفات در بای پلات، همبستگی بین صفات را نشان می‌دهد. برای نمونه، زاویه کوچک بین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه بیانگر همبستگی مثبت قوی آن‌ها است، درحالی‌که فاصله بردار شاخص آلومتریکی از این گروه، رابطه معکوس بین رشد اولیه و تقسیم منابع را در شرایط تنش نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که PC1 و PC2 معیار مناسبی برای تفکیک اکوتیپ‌ها بر اساس توان رشد و جوانه‌زنی تحت شوری هستند و صفات با اثرگذاری بالا در این مؤلفه‌ها برای تحلیل خوشه‌ای و تعیین گروه‌های اکوتیپی مقاوم به شوری قابل استفاده‌اند.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) شاخص‌های جوانه‌زنی

و رشدی اکوتیپ‌های یونجه باغی تحت تنش شوری

برای کاهش ابعاد داده‌ها و شناسایی صفات کلیدی مرتبط با تحمل شوری، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر روی ۱۲ شاخص جوانه‌زنی و رشدی در ۱۰ اکوتیپ یونجه باغی و شش سطح شوری انجام شد. نتایج نشان داد که سه مؤلفه اصلی بیش از ۸۶ درصد واریانس کل داده‌ها را توضیح می‌دهند، که PC1، PC2 و PC3 به ترتیب سهم ۵۷/۷، ۱۷/۴ و ۱۱/۲ درصد از واریانس کل را دارند.

PC1 بیشترین اثرگذاری مثبت را برای صفاتی چون درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه و شاخص بنیه بذری نشان داد، که نشان‌دهنده عملکرد اولیه و توان رشد کلی گیاهچه در شرایط شوری است. PC2 عمدتاً اثر بالایی بر طول گیاهچه و شاخص آلومتریک داشت و بیانگر ظرفیت رشد تعادلی و تقسیم منابع در گیاهچه‌ها بود. PC3 دارای اثرگذاری قابل توجهی روی میانگین جوانه‌زنی روزانه و ضریب سرعت جوانه‌زنی بود و پاسخ‌های دینامیکی جوانه‌زنی تحت تنش شوری را منعکس کرد.

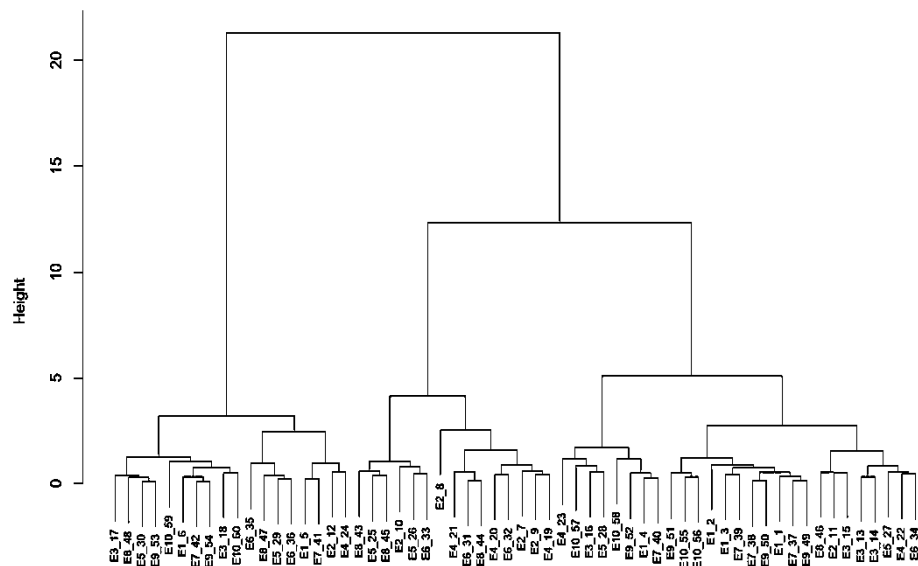


شکل ۵- بای پلات مؤلفه‌های اصلی (PC1 و PC2)، توزیع اکوتیپ‌های یونجه‌باغی و ارتباط آن‌ها با شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهیچه تحت تنش شوری

شوری صفر و ۲۵ میلی‌مولار، گروه مقاوم شامل اکوتیپ‌های نهاوند، سمنان، سنندج، سقز و کرمانشاه، گروه حساس شامل اکوتیپ‌های همدان، پاوه، سروآباد، ایلام و مریوان و گروه متوسط فاقد نمونه بود. در سطوح شوری بالاتر (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار)، همان الگو حفظ شد، با این تفاوت که اکوتیپ‌های سنندج، سقز و کرمانشاه به‌صورت مشخص در گروه متوسط قرار گرفتند و اکوتیپ‌های نهاوند و سمنان همواره مقاوم باقی ماندند، درحالی‌که اکوتیپ‌های همدان، پاوه، سروآباد، ایلام و مریوان گروه حساس را تشکیل دادند. این نتایج نشان می‌دهد که توانایی اکوتیپ‌های مختلف یونجه‌باغی در مقابله با شوری بر اساس صفات مؤثر فتوتروفیک و شاخص‌های رشد متفاوت است و اکوتیپ‌های نهاوند و سمنان گزینه‌های مقاوم و مناسب برای کشت در شرایط شوری بالا محسوب می‌شوند، درحالی‌که اکوتیپ‌های همدان، پاوه، سروآباد، ایلام و مریوان حساس به شوری هستند.

تحلیل خوشه‌ای (Cluster analysis) اکوتیپ‌های یونجه‌باغی بر اساس صفات رشدی و شاخص‌های جوانه‌زنی تحت تنش شوری

تحلیل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی و بر اساس شاخص‌های جوانه‌زنی و رشدی اکوتیپ‌های یونجه‌باغی که در مؤلفه اول (PC1) بیشترین اثرگذاری مثبت را نشان داد انجام شد و اکوتیپ‌های یونجه‌باغی در هر سطح شوری به سه گروه حساس، متوسط و مقاوم طبقه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که اکوتیپ‌های نهاوند و سمنان در تمام سطوح شوری مورد بررسی، عملکرد بهتری داشتند و در گروه مقاوم قرار گرفتند. در مقابل، اکوتیپ‌های همدان، پاوه، سروآباد، ایلام و مریوان در تمامی سطوح شوری، کمترین عملکرد را داشتند و در گروه حساس جای گرفتند. اکوتیپ‌های سنندج، سقز و کرمانشاه عمدتاً در گروه متوسط قرار داشتند و با افزایش شدت شوری، کاهش عملکرد این اکوتیپ‌ها مشهود بود (شکل ۶). با توجه به این دسته‌بندی، در سطح



شکل ۶- دندروگرام اکوتیپ‌های یونجه بر اساس خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با روش Ward

خوشه‌بندی بر اساس صفات کلیدی اثرگذار بر روی مؤلفه اصلی اول (PC1) است. (حروف E1-E10 بیانگر اسامی اکوتیپ‌های یونجه‌باغی شامل (همدان، نهاوند، پاوه، سمنان، سنندج، سروآباد، سقز، کرمانشاه، ایلام و مریوان) است و شماره گذاری‌ها از ۱-۶۰ بیانگر اثر متقابل سطوح شوری در اکوتیپ‌های یونجه‌باغی است).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که اکوتیپ‌های نهاوند و سمنان دارای تحمل نسبی بالاتری به شوری هستند و می‌توانند به‌عنوان منابع ژنتیکی مناسب برای برنامه‌های به‌نژادی و کشت در مناطق با سطوح متوسط شوری مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، افزایش شدید شوری (۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) سبب کاهش شدید اکثر صفات در تمامی اکوتیپ‌ها شد که بیانگر آستانه تحمل پایین گیاهچه‌ها در مراحل اولیه رشد تحت چنین شرایطی است.

سیاسگزاری

بدین وسیله از مسئولین آزمایشگاه‌های گروه تولید و ژنتیک و گیاهی دانشگاه کردستان که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش غلظت نمک از صفر تا ۲۰۰ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری سبب کاهش کلیه صفات جوانه‌زنی و رشدی شامل طول ریشه‌چه، طول ساقه-چه، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، شاخص بنیه بذر، درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، میانگین زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی روزانه، ضریب سرعت جوانه‌زنی و ضریب آلومتریک گردید. بیشترین کاهش این صفات در غلظت ۱۵۰ و به‌ویژه ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد که در این شرایط اغلب اکوتیپ‌ها با افت شدید رشد و جوانه‌زنی مواجه شدند. مقایسه اکوتیپ‌ها نشان داد که اکوتیپ‌های نهاوند و سمنان در اکثر صفات به‌ویژه ریشه-چه، طول ساقه‌چه، طول گیاهچه، وزن خشک، شاخص بنیه بذر و درصد جوانه‌زنی عملکرد بهتری نسبت به سایر اکوتیپ‌ها داشتند و توانستند اثرات منفی تنش شوری را تا غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار با افت کمتری تحمل کنند. در مقابل، اکوتیپ‌های مریوان و ایلام در اغلب شاخص‌ها حساس‌تر بودند و کاهش بیشتری در شرایط شور از خود نشان دادند. همچنین با افزایش شوری، شاخص تحمل به شوری TI و حساسیت به شوری SI همه اکوتیپ‌ها کاهش یافت. اکوتیپ نهاوند بیشترین تحمل و اکوتیپ‌های مریوان و ایلام بیشترین حساسیت را نشان دادند.

منابع

- Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13(6), 630–633. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>
- Aghighi Shahverdikani, M., Tobeh, A., Jahanbakhsh Godehkahriz, S., & Rastegar, Z. (2011). The study of germination index of canola cultivars for drought resistance. *International Journal of Agronomy & Plant Production*, 2(3), 89–95. <http://www.victorquestpub.com>
- Ahmadi, F., Nazari, F., Ghaderi, N., & Teixeira da Silva, J. A. (2023). Assessment of morpho-physiological and biochemical responses of perennial ryegrass to gamma-aminobutyric acid (GABA) application under salinity stress using multivariate analyses techniques. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 168–182. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10538-5>
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination & dormancy* (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Bhardwaj, S. H., Sharma, N. K., Srivastava, P. K., & Shukla, G. (2010). Salt tolerance assessment in alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes. *Botany Research Journal*, 3(1–4), 1–6. <https://doi.org/10.3923/brj.2010.1.6>
- Bhattarai, S., Lundell, S., & Biliget, B. (2022). Effect of sodium chloride salt on germination, growth, and elemental composition of alfalfa cultivars with different tolerances to salinity. *Agronomy*, 12(10), 2420. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102420>
- Blum, A. (1988). *Plant breeding for stress environments* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351075718>
- Brenchley, J. L., & Probert, R. J. (1998). Seed germination responses to some environmental factors in the seagrass *Zostera capricorni* from eastern Australia. *Aquatic Botany*, 62, 177–188. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(98\)00095-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(98)00095-7)
- Bulut, H., & Gürkan, H. (2017). Drought stress due to climate change and effects on plants. In *Proceedings of the 8th Atmospheric Sciences Symposium* (pp. 123–130). Istanbul, Turkey.
- Causin, H. F., Bordon, D. A., & Burrieza, H. (2020). Salinity tolerance mechanisms during germination and early seedling growth in *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes with different sensitivity to saline stress. *Environmental and Experimental Botany*, 172, 103999. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103999>
- Cheeseman, J. M. (2015). The evolution of halophytes, glycophytes, and crops, and its implications for food security under saline conditions. *New Phytologist*, 206(2), 557–570. <https://doi.org/10.1111/nph.13217>
- Daneshnia, F., & Chaichi, M. R. (2018). Field treatment effects on seed germination and early growth traits of berseem clover under salinity stress conditions. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*, 2(1), 4–7.
- Ebrahimi, M., & Miri, E. (2016). Effect of humic acid on seed germination and seedling growth of *Borago officinalis* and *Cichorium intybus*. *Ecopersia*, 4(1), 1239–1249. <https://doi.org/10.18869/modares.ecopersia.4.1.1239>
- Ebrahimi, O., Esmaili, M. M., Saboori, H., & Tahmasbi, A. (2013). Effect of drought and salinity stress on germination of *Trifolium pratense*, *Vicia sativa*, and *Sanguisorba minor*. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(3), 384–388.
- Farissi, M., Bouizgaren, A., Faghire, M., Bargaz, A., & Ghoulam, C. (2011). Agro-physiological responses of Moroccan alfalfa (*Medicago sativa* L.) populations to salt stress during germination and early seedling stages. *Seed Science and Technology*, 39(2), 389–401. <https://doi.org/10.15258/sst.2011.39.2.11>
- Gad, M., Chao, H. B., Li, H. X., Zhao, W. G., Lu, G. Y., & Li, M. T. (2021). QTL mapping for seed germination response to drought stress in *Brassica napus*. *Frontiers in Plant Science*, 11, 629970. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.629970>
- Khan, M. A., Fawad, M., Jamal, A., Ali, A., & Ahmad, R. (2025). Influence of varying salinity on germination indices and threshold of salt tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Sarhad Journal of Agriculture*, 41(2), 528–537.
- Liu, B. H., Liu, X. H., Liu, F. C., Ma, H. L., Ma, B. Y., & Peng, L. (2021). Stress tolerance of *Xerocomus badius* and its promotion effect on seed germination and seedling growth of annual ryegrass under salt and drought stresses. *AMB Express*, 11, 15–23. <https://doi.org/10.1186/s13568-020-01172-7>
- Luan, Z. H., Xiao, M. X., Zhou, D. W., Zhang, H. X., Tian, Y., Wu, Y., et al. (2014). Effects of salinity, temperature, and polyethylene glycol on the seed germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Scientific World Journal*, 2014, 170418. <https://doi.org/10.1155/2014/170418>
- Ma, L., Wei, J., Han, G., Sun, X., & Yang, X. (2024). Seed osmopriming with polyethylene glycol (PEG) enhances seed germination and seedling physiological traits of *Coronilla varia* L. under water stress. *PLOS ONE*, 19(5), e0302197. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302197>
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination—aids in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176–177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

- Martins, R., José, A., Faria, J. M., & Melo, L. A. (2019). Effect of water and salt stress on seeds germination and vigor of different *Eucalyptus* species. *Journal of Tropical Forest Science*, 31, 12–18. <https://doi.org/10.26525/jtfs.2019.31.1.012018>
- Mbarki, S., Skalicky, M., Vachova, P., Hajihashemi, S., Jouini, L., Zivcak, M., ... & Zoghalmi Khelil, A. (2020). Comparing salt tolerance at seedling and germination stages in local populations of *Medicago ciliaris* L. to *Medicago intertexta* L. and *Medicago scutellata* L. *Plants*, 9(4), 526. <https://doi.org/10.3390/plants9040526>
- Molano-Flores, B. (2014). An invasive plant species decreases native plant reproductive success. *Natural Areas Journal*, 34(4), 465–470. <https://doi.org/10.3375/043.034.0411>
- Moradian, Z., Rahdan, A., & Bazmakani, R. (2024). Germination responses and phenolic compounds of *Securigera securidaca* L. seeds under drought and salinity stress conditions. *Agrotechniques in Industrial Crops*, 4(4), 205–212. <https://doi.org/10.22126/ATIC.2024.10276.1139>
- Nezamivand Chegini, R., Benakashani, F., Alahdadi, I., & Soltani, E. (2021). Quantification of salinity stress and drought effects on fourteen ecotypes of black caraway (*Nigella sativa* L.) medicinal plant. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(1), 211–220. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2653.1688>
- Niste, M., Vidican, R., Stoian, V., Berindean, I., Criste, A., Miclea, R., & Pop, R. (2015). The effect of salinity stress on seed germination of red clover (*Trifolium pratense* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 72(2), 447–452. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:11706>
- Osborne, J. M., Fox, J. E. D., & Mercer, S. (1993). Germination response under elevated salinities of six semi-arid blue bush species (Western Australia). In H. Lieth & A. Al Masoom (Eds.), *Towards the rational use of high salinity plants* (Vol. 1, pp. 323–338). Springer.
- Ranal, M. A., & Santana, D. G. de. (2006). How & why to measure the germination process? *Brazilian Journal of Botany*, 29(1), 1–11. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000100002>
- Salehi Shanjani, P., Rasoulzadeh, L., & Javadi, H. (2023). Evaluation of morphological traits in the populations of *Coronilla varia* L. *Journal of Rangeland Science*, 13(1), 52–71.
- Scott, S. J., Jones, R. A., & Williams, W. A. (1984). Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, 24, 1192–1199. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060049x>
- Simmons, M., Bertelsen, M., Windhager, S., & Zafian, H. (2011). The performance of native and nonnative turfgrass monocultures and native turfgrass polycultures: An ecological approach to sustainable lawns. *Ecological Engineering*, 37(8), 1095–1103. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.07.043>
- Sofi, A., Ebrahimi, M., & Shirmohammadi, E. (2018). Effect of humic acid on germination, growth, and photosynthetic pigments of *Medicago sativa* L. under salt stress. *Ecopersia*, 6(1), 21–30. <http://ecopersia.modares.ac.ir/article-24-14655-en.html>
- Soltani, A., Khodarahmpour, Z., Jafari, A. A., & Nakhjavan, S. (2012). Selection of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars for salt stress tolerance using germination indices. *African Journal of Biotechnology*, 11(31), 7899–7905. <https://doi.org/10.5897/AJB11.3977>
- Souza, M. L., & Fagundes, M. (2014). Seed size as key factor in germination and seedling development of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). *American Journal of Plant Sciences*, 5, 2566–2573. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.517270>
- Tariq, M., Khan, F., Shah, A. H., Fahad, S., Wahid, F., Ali, J., ... & Battaglia, M. L. (2020). Effect of micronutrients foliar supplementation on the production and eminence of plum (*Prunus domestica* L.). *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 12(Special Issue 1), 32–40. <https://doi.org/10.15586/qas.v12isp1.793>
- Thouraya, R., Hnan, I., Ilahy, R., Benali, A., & Jebari, H. (2013). Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Applied Biosciences*, 66, 5060–5069. <https://doi.org/10.4314/jab.v66i0.95004>
- Torabi, M. (2010). *Physiological and biochemical responses of Iranian alfalfa (Medicago sativa L.) ecotypes to salt stress* (Doctoral dissertation, Universiti Putra Malaysia).
- Wang, Y., Diao, P., Kong, L., Yu, R., Zhang, M., Zuo, T., Fan, Y., Niu, Y., Yan, F., & Wuriyanghan, H. (2020). Ethylene enhances seed germination and seedling growth under salinity by reducing oxidative stress and promoting chlorophyll content via ETR2 pathway. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1066. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01066>
- Wu, C., Wang, Q., Xie, B., Wang, Z., Cui, J., & Hu, T. (2011). Effects of drought and salt stress on seed germination of three leguminous species. *African Journal of Biotechnology*, 10(78), 17954–17961. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2018>
- Xie, J., Li, Y., Jiang, G., Sun, H., Liu, X., & Han, L. (2023). Seed color represents salt resistance of alfalfa seeds (*Medicago sativa* L.): Based on the analysis of germination characteristics, seedling growth and seed traits. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1104948. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1104948>