Plant Prod., 2026, 49(2), 269-286
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.50540.2292
Received: 02 September 2025
Accepted: 15 October 2025

Plant Productions
Research Article

Effects of salinity levels on morphological traits, yield and forage quality of crown vetch (*Securigera varia* L.) ecotypes under greenhouse conditions

Rahimeh Saberfar [1], Gholamreza Heidari[1*], Farzad Nazari [2], Sirwan Babaei [1], Ayoub Molaahmad Nalousi [2]

1. Department of Plant Production and Genetics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2. Department of Horticultural Sciences and Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Citation: Saberfar, R., Heidari, G., Nazari, F., Babaei, S., & Molaahmad Nalousi, A. (2026). Effects of salinity levels on morphological traits, yield and forage quality of crown vetch (*Securigera varia* L.) ecotypes under greenhouse conditions. *Plant Productions*, 49(2), 269 -286.

Abstract

Introduction

Crown vetch (*Securigera varia*) is considered one of the most suitable perennial forage species for cultivation in arid and semi-arid regions due to its high adaptability to diverse environmental conditions and favorable forage characteristics. Salinity stress is one of the most critical limiting factors affecting forage yield and quality in such regions. Owing to its deep root system, strong regrowth ability, and relatively high drought tolerance, this species can grow in areas where many other forage crops fail to survive. However, soil salinity remains a major abiotic stress that severely restricts the growth, quantity, and quality of forage production. Therefore, understanding the responses of different S. varia ecotypes to salinity stress is essential for identifying tolerant and high-quality genotypes and ensuring sustainable forage production.

Materials and Methods

The experiment was conducted in 2024 in the greenhouse of the University of Kurdistan, Iran, using a factorial arrangement based on a completely randomized design with three replications. The first factor consisted of ten *Securigera varia* ecotypes (Nahavand, Hamedan, Semnan, Ilam, Kermanshah, Paveh, Sanandaj, Marivan, Saqez, and Sarvabad), while the second factor included four salinity levels (0, 100, 200, and 300 mM NaCl). Morphological and quantitative traits, including shoot and root dry weight, plant height, and root length, as well as forage quality parameters such as crude protein, crude fiber, acid detergent fiber, neutral detergent fiber, digestible dry matter, and total ash, were measured.

Results and Discussion

The interaction between salinity levels and ecotypes had a significant effect on the morphological traits, quantity, and quality crown vetch. At 100 mM salinity, shoot and root dry weight, plant height, root length, crude protein, and digestible dry matter increased, whereas these traits decreased at higher salinity levels (200 and 300 mM). The highest crude protein content (24.70%) was recorded in the Nahavand and Saqez ecotypes at 100 mM, while the lowest (6.93%) was observed in the Ilam ecotype at 300 mM. Crude fiber reached its maximum (31.79%) in the Paveh ecotype at 300 mM and the minimum (10.11%) in the Hamedan ecotype at 100 mM. Acid detergent

* **Corresponding Author:** Gholamreza Heidari
E-mail: g.heidari@uok.ac.ir

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. 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

fiber and neutral detergent fiber were highest (83.05% and 85.03%) in the Paveh ecotype at 300 mM and lowest (21.01% and 31.55%) in the Nahavand and Sarvabad ecotypes at 100 mM. Digestible dry matter was highest (76.78%) in the Nahavand ecotype at 100 mM and lowest (24.78%) in the Ilam ecotype at 300 mM. Total ash content reached its maximum (15.44%) in the Paveh ecotype at 300 mM and minimum (7.99%) in the Hamedan ecotype at 100 mM.

Conclusion

Mild salinity (100 mM) promoted the growth and forage quality of crown vetch, whereas higher salinity levels significantly impaired these traits. Among the evaluated ecotypes, the Nahavand ecotype exhibited the greatest salinity tolerance and consistently produced superior forage quality compared with the other ecotypes. These findings indicate that the Nahavand ecotype is the most suitable candidate for cultivation in saline environments, where it can help maintain both forage yield and quality. Overall, salinity is a major factor influencing the growth and forage quality of crown vetch, underscoring the importance of selecting salt-tolerant ecotypes to enhance productivity and support sustainable forage production under saline conditions.

Keywords: Shoot and root dry weight, Crude protein, Crude fiber, Digestible dry matter, Total ash

تولیدات گیاهی، ۱٤۰۵، ٤۹(۲)، ۲٦۹-۲۸٦
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.50540.2292
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

بررسی اثر سطوح شوری بر صفات مورفولوژیک، کمیت و کیفیت علوفهٔ اکوتیپ‌های یونجه باغی (*Securigera varia* L.) در شرایط گلخانه

رحیمه صابرفر[۱]، غلامرضا حیدری[۱*]، فرزاد نظری[۲]، سیروان بابائی[۱]، ایوب ملااحمد 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

چکیده

یونجه باغی به‌دلیل سازگاری بالا با شرایط محیطی، سیستم ریشه‌ای عمیق و تحمل نسبی به خشکی، از گیاهان مهم علوفه‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. با این‌حال، شوری خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی، رشد، کمیت و کیفیت علوفه این گیاه را محدود می‌کند. ازاین‌رو، بررسی واکنش اکوتیپ‌های مختلف این گیاه به شوری در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و مناسب برای تولید پایدار علوفه اهمیت دارد. به‌منظور بررسی تغییرات صفات مورفولوژیک، کمیت و کیفیت علوفه و شناسایی اکوتیپ‌های برتر یونجه باغی تحت سطوح تنش شوری، این آزمایش در سال زراعی ۱٤۰۳ در گلخانهٔ دانشگاه کردستان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ اکوتیپ یونجه‌باغی و چهار سطح شوری (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد برهم‌کنش سطوح مختلف شوری و اکوتیپ‌های مختلف، اثر معنی دار بر صفات مورفولوژیک، کمیت و کیفیت یونجه باغی داشت. در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، وزن خشک اندام هوایی و زیرزمینی، ارتفاع بوته، طول ریشه، پروتئین خام و مادهٔ خشک قابل هضم افزایش یافت، اما در سطوح بالاتر (۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار) این صفات کاهش یافتند. بالاترین پروتئین خام (۲٤/۷۰ درصد) در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار متعلق به اکوتیپ‌های نهاوند و سقز و کمترین مقدار آن (٦/۹۳ درصد) در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار مربوط به اکوتیپ ایلام بود. میزان فیبر خام در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار بیشترین مقدار (۷۹/۳۱ درصد) را برای اکوتیپ پاوه و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کمترین مقدار (۱۱/۱۰ درصد) را در اکوتیپ همدان نشان داد. بیشترین مقادیر فیبرهای نامحلول در شویندهٔ اسیدی و شوینده‌های خنثی (۸۳/۰۵ و ۸۵/۰۳ درصد) در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار در اکوتیپ پاوه و کمترین آن‌ها (۲۱/۰۱ و ۳۱/۵۵ درصد) در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار برای اکوتیپ‌های نهاوند و سروآباد مشاهده شد. مادهٔ خشک قابل هضم بالاترین مقدار خود (۷۸/۷٦ درصد) را در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار برای اکوتیپ نهاوند و کمترین مقدار (۷۸/۲٤ درصد) را در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار برای اکوتیپ ایلام داشت. میزان خاکستر کل در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار برای اکوتیپ پاوه به بیشترین مقدار (٤٤/۱۵ درصد) رسید، درحالی‌که کمترین مقدار (۹۹/۷ درصد)

نویسنده مسئول: غلامرضا حیدری
رایانامه: g.heidari@uok.ac.ir

در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار برای اکوتیپ همدان به‌دست آمد. به طور کلی، شوری ۱۰۰ میلی‌مولار اثر مثبتی بر رشد و کیفیت علوفه داشت، درحالی‌که شوری‌های بالاتر موجب کاهش این ویژگی‌ها شدند. در میان اکوتیپ‌ها، اکوتیپ نهاوند با بیشترین تحمل به شوری و بهترین کیفیت علوفه، عملکرد برتری نسبت به دیگر اکوتیپ‌ها داشت. بنابراین، انتخاب اکوتیپ نهاوند برای کشت در شرایط شوری می‌تواند موجب بهبود بهره‌وری و کیفیت علوفه گردد. یافته‌های این پژوهش نشان‌دهندهٔ اهمیت انتخاب اکوتیپ‌های مناسب در مدیریت تولید علوفهٔ با کیفیت در مناطق شور است.

کلیدواژه‌ها: پروتئین خام، فیبر خام، خاکستر کل، مادهٔ خشک قابل هضم، وزن خشک ریشه و اندام هوایی

مقدمه

یونجه باغی (*Securigera varia*)، گیاهی با سازگاری بالا است که به‌دلیل ویژگی‌های مورفولوژیکی مناسب، گزینهٔ مطلوبی برای چرای دام محسوب می‌شود. این گیاه توانایی تحمل دوره‌های کوتاه چرای شدید را دارد و به‌همین دلیل پتانسیل بالایی برای تبدیل شدن به یک محصول علوفه‌ای دارد (Salehi Shanjani *et al.*, 2023). یونجه باغی بومی اروپای مرکزی و جنوبی است و درحال‌حاضر در منطقهٔ مدیترانه، روسیه و خاورمیانه رایج است (Gustine and Moyer, 1990). در ایران در مراتع و باغات و حاشیه مزارع استان‌های مختلف گزارش شده است (Salehi Shanjani *et al.*, 2023).

در سراسر جهان، شوری خاک در حال تبدیل شدن به یک مشکل اساسی و مهم است که در تمام اقلیم‌ها دیده می‌شود. پیش‌بینی می‌شود که حدود ۸۳۰ تا یک میلیارد هکتار زمین در بیش از ۱۰۰ کشور با مشکلات شوری مواجه باشند (Hafeez *et al.*, 2024). تنش شوری نیز یکی از دلایل اصلی کمبود آب در گیاهان در نظر گرفته می‌شود و تهدیدی جدی برای امنیت غذایی جهانی و پایداری تولید گیاهی می‌باشد (Tariq *et al.*, 2020).

استفاده بهینه از منابع آب که شامل بهره‌گیری از گیاهان بومی متحمل به خشکی و شوری است، یکی از راهکارهای پایدار و مقرون‌به‌صرفه برای مقابله با کمبود منابع آبی به‌شمار می‌رود (Simmons *et al.*, 2011). تحمل شوری اغلب با عملکرد کمی محصول ارزیابی می‌شود، درحالی‌که اثر آن بر کیفیت علوفه یا ارزش غذایی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در تولید علوفه، هر دو عامل عملکرد و کیفیت غذایی اهمیت دارند تا بتوان از مزارع تحت تنش شوری، علوفه کافی و با ارزش غذایی مطلوب تولید نمود. همچنین، گزارش شده است که عدم وجود برهم‌کنش شوری و رقم برای برخی پارامترهای کیفی علوفه نشان می‌دهد انتخاب ارقامی که هم عملکرد و هم کیفیت را به‌طور همزمان در شرایط شوری بهینه کنند دشوار است و اغلب فقط عملکرد به‌عنوان شاخص اصلی انتخاب در نظر گرفته می‌شود (Anderson *et al.*, 2023). به‌عنوان مثال، پاسخ یونجه به تنش آبی و شوری در کل دورهٔ رشد متفاوت است و تنش آبی بیشترین اثر منفی را بر عملکرد یونجه در مرحلهٔ انشعاب دارد. بااین‌حال، وجود نمک در خاک می‌تواند تحمل آن را در برابر خشکی تا حدی افزایش داده و اثر منفی تنش آبی بر عملکرد را کاهش دهد (Hou *et al.*, 2022).

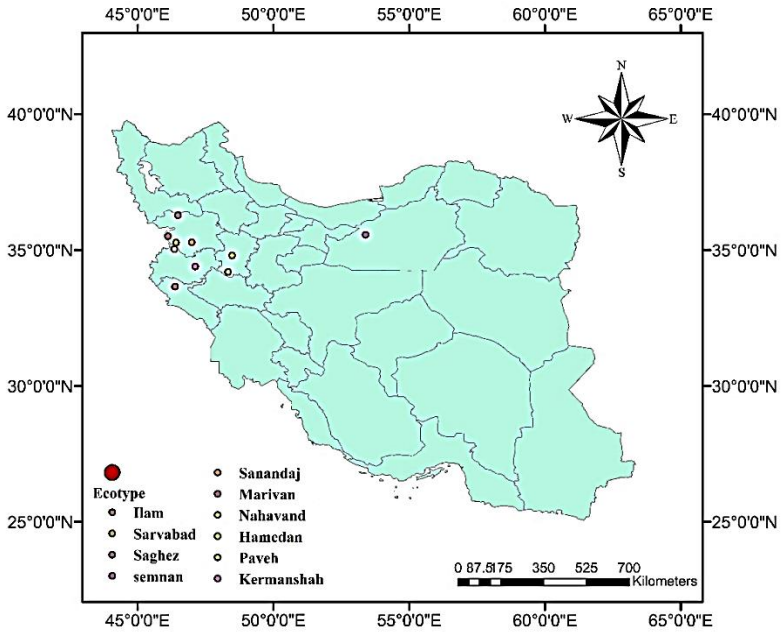
آگاهی از کیفیت علوفه بیانگر ارزش غذایی و مقدار انرژی قابل دسترس برای دام است. شاخص‌های متنوعی برای تعیین کیفیت علوفه استفاده می‌شوند. به‌عنوان نمونه مادهٔ خشک یونجه‌باغی پرورش یافته از توده‌های محلی درباغ گیاهشناسی مولداوی حاوی ۱۶۷–۱۵۷ گرم در کیلوگرم پروتئین خام، ۱۱۰–۸۵ گرم در کیلوگرم خاکستر، ۳۴۲–۲۹۲ گرم در کیلوگرم فیبر خام، ۳۵۳–۳۰۳ گرم در کیلوگرم فیبرهای نامحلول در شویندهٔ اسیدی، ۵۱۹–۴۵۰ گرم در کیلوگرم فیبرهای نامحلول در شویندهٔ خنثی، ۶۱/۶۵–۳۰/۴۲ درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم، ۱۳۵–۱۱۰ مگاژول درکیلوگرم ارزش نسبی

تغذیه‌ای، ۱۰/۵۳-۹/۹۵ مگاژول در کیلوگرم انرژی متابولیسمی و ۶/۵۴-۵/۹۷ مگاژول در کیلوگرم انرژی ویژه شیردهی بود (Titei, 2021).

مطالعات متعددی به بررسی اثر شوری بر ترکیب شیمیایی و کیفیت علوفه یونجه پرداخته‌اند. آبیاری یونجه با آب زهکشی شور موجب کاهش معنی دار میزان فیبرهای نامحلول در شویندهٔ خنثی و اسیدی و افزایش مادهٔ خشک قابل هضم و غلظت کربوهیدرات‌های غیرالیافی گردیده است، درحالی‌که پروتئین خام کمتر تحت تأثیر قرار گرفته است (Ayars *et al.*, 2011). در یک مطالعهٔ گلدانی گلخانه‌ای ۱۸ ماهه، حتی در بالاترین سطح شوری آب آبیاری (۱۰ دسی‌زیمنس بر متر)، هیچ‌گونه کاهش قابل‌توجهی در کیفیت یونجه (*Medicago sativa*) مشاهده نشد (Diaz *et al.*, 2018). همچنین در آزمایش میدانی اثر سه سطح شوری خاک (۰/۰۰۲، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۶ دسی‌زیمنس بر متر از وزن خشک خاک ۶۰-۰ سانتی‌متر) بر یونجه (*Medicago sativa*) نشان داد که صفات ریخت‌شناسی یونجه و برخی پارامترهای کیفی علوفه مثل فیبرهای نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی با افزایش شوری کاهش یافته و پارامترهای مثل درصد پروتئین‌خام افزایش یافت (Qiu *et al.*, 2023). برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که رشد یونجه در شرایط شوری مقدار پروتئین خام و غلظت کربوهیدرات‌های غیرالیافی را افزایش داده و میزان فیبرهای نامحلول را کاهش داده است که به‌طورکلی ارزش غذایی یونجه را نسبت به شرایط شوری پایین بهبود می‌دهد. بااین‌حال، این بهبود نسبی در کیفیت نمی‌تواند کاهش میانگین ۲۳/۹ تا ۳۵ درصدی عملکرد را در شرایط شوری بالا جبران نماید (Anderson *et al.*, 2023). با توجه به این شواهد، انتخاب ارقام یا اکوتیپ‌های متحمل به شوری که بتوانند همزمان از نظر صفات کمی و کیفی برتر باشند ضروری است. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی تغییرات کیفیت علوفه و شناسایی اکوتیپ‌های برتر یونجه باغی (گونه بومی ایران) تحت شرایط تنش شوری، به‌منظور بهبود انتخاب ژرم‌پلاسم‌های متحمل و افزایش پایداری تولید علوفه است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانهٔ دانشگاه کردستان در سال ۱۴۰۳ انجام شد. عامل اول شامل اکوتیپ‌های مختلف یونجه‌باغی (نهاوند، همدان، سمنان، ایلام، کرمانشاه، پاوه، سنندج، مریوان، سقز، سروآباد) و عامل دوم سطوح مختلف شوری صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی مولار کلرید سدیم بود. بذر اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی از مراتع، باغات و حاشیه مزارع استان‌های همدان، کرمانشاه، کردستان، ایلام و سمنان جمع‌آوری گردید (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق جمع آوری بذر ۱۰ اکوتیپ یونجه باغی

Figure 1. Geographical location of the collection sites of ten crown vetch ecotypes

برای تهیه بوته‌های یکسان، بر اساس روش تاپ پیپر، تعداد ۵۰ عدد بذر از هر اکوتیپ پس از ضدعفونی برروی کاغذ صافی واتمن نمره ۱ در پتری دیش‌هایی به قطر ۹ سانتی‌متر در ژرمیناتور (مدل MLR-350H، شرکت الکتریک سانیو ژاپن) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در شرایط ۸ ساعت نور و ۱۶ ساعت تاریکی قرار داده شد (ISTA, 2018). پس از جوانه‌زنی، بذرهای یکنواخت هر اکوتیپ انتخاب و به‌تعداد پنج عدد در گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع و قطر دهانه ۲۱ سانتی‌متر و سطح مقطع ۱۷۵ سانتی‌مترمربع در بستر کاشت ترکیب خاک زراعی، ماسه و کود دامی پوسیده به نسبت حجمی یکسان کشت شدند. شرایط رشد گیاه در گلخانه شامل دمای روز/شب ۳ ±۲۵/۱۷ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۵۰ درصد، شدت شار نوری فتوسنتزی ۹۰۰-۷۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه و یک فتوپریود ۱۴ ساعته بود. پس از استقرار گیاه و رسیدن به مرحلهٔ چهار برگی، تراکم گیاهی از طریق تنک‌سازی به دو بوته در هر گلدان کاهش یافت. با شروع مرحلهٔ تشکیل انشعابات فرعی (تقریباً دو ماه پس از کاشت)، تیمارهای شوری اعمال گردید. برای این منظور، محلول‌های کلرید سدیم با غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار، با استفاده از نمک کلرید سدیم با خلوص ۹۹ درصد محصول شرکت Sigma-Aldrich، تهیه شدند. نمونه شاهد نیز شامل آب معمولی با هدایت الکتریکی برابر ۰/۲۳۳ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر بود. تأمین آب مورد نیاز گیاهان با استفاده از این محلول‌ها به‌صورت آبیاری در سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شد، به‌طوری‌که گلدان‌ها هر چهار روز یک‌بار وزن شده و با محلول‌های مورد نظر مجدداً تا سطح ظرفیت زراعی آبیاری می‌شدند. پس از چهار نوبت آبیاری با محلول‌های شور که مقدار هدایت الکتریکی زه‌آب در تیمارهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب برابر با ۶/۷۸، ۱۱/۱۲ و ۱۳/۰۵ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. آبیاری گلدان‌ها با آب معمولی انجام شد. در نهایت، دو ماه پس از آغاز تیمارهای شوری، نمونه‌برداری صورت گرفت و گیاهان جهت بررسی صفات مورفولوژیک و ارزیابی کیفیت علوفه به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور تعیین وزن خشک اندام هوایی و زیرزمینی، پس از برداشت اکوتیپ‌های مختلف، نمونه‌ها در آون (مدل UNE 500) در

دمای ۷۲ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شد و سپس نمونه‌ها توزین شدند. ارتفاع ساقه و طول ریشه با استفاده از خط‌کش برآورد گردید. ویژگی‌های کیفی علوفه اکوتیپ‌های مختلف شامل درصد پروتئین خام، درصد فیبرهای نامحلول در شوینده اسیدی و شوینده‌های خنثی، درصد مادهٔ خشک قابل هضم، درصد فیبر خام و درصد خاکستر کل بر اساس دستورالعمل (AOAC, 2019) در علوفه خشک اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری پروتئین خام نمونه از دستگاه کجلدال استفاده شد. مقدار نیتروژن برای هر نمونه قرائت شده (AOAC, 2019) و مقدار پروتئین خام (Nolan, 2007) محاسبه گردید. فیبرهای نامحلول در شوینده‌های اسیدی و خنثی، با استفاده از روش ون سوت (Van Soest, 1963) در دستگاه فایبرتیک (FA200) اندازه‌گیری شدند. درصد مادهٔ خشک قابل هضم بر اساس معادلهٔ پیشنهادی (Oddy, 1983) و مقادیر فیبر نامحلول در شوینده اسیدی محاسبه شد. فیبر خام و خاکستر کل نیز طبق دستورالعمل استاندارد (AOAC, 2019) اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS (نسخه ۹/۴) و مقایسه میانگین‌های تیمارهای آزمایشی براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح یک درصد انجام شد. نمودارها نیز توسط نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی

تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح شوری، اکوتیپ و برهم‌کنش آن‌ها بر وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین برهمکنش اکوتیپ و سطوح شوری نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام‌هوایی و اندام‌زیرزمینی برای اکوتیپ‌های نهاوند و سمنان در تمام سطوح شوری مشاهده گردید. وزن خشک اندام‌هوایی و اندام‌زیرزمینی برای تمامی اکوتیپ‌ها در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت و در شوری ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار کاهش نشان داد (جدول ۲). این امر نشان می‌دهد که تمام اکوتیپ‌ها در شرایط شوری ملایم توانسته‌اند رشد بیشتری نسبت به شاهد داشته باشند. پدیدهٔ افزایش وزن خشک در غلظت‌های پایین نمک می‌تواند ناشی از اثر تحریک رشد (Hormesis) باشد، به‌طوری‌که حضور مقدار کمی نمک ضمن بهبود شرایط تنظیم اسمزی و افزایش جذب عناصر غذایی، سبب رشد بیشتر می‌شود (Cornacchione *et al.*, 2017). با افزایش سطح شوری، وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی در تمامی اکوتیپ‌ها کاهش یافت. این پدیده عمدتاً ناشی از بروز تنش اسمزی و کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه است که در نتیجه جذب آب توسط ریشه‌ها محدود شده و رشد سلولی کاهش می‌یابد. همچنین تجمع یون‌های سدیم (Na^+) و کلر (Cl^-) در بافت‌های گیاهی می‌تواند به بروز سمیت یونی، اختلال در جذب عناصر غذایی ضروری (مانند Ca^{2+} و K^+) و تخریب ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، کاهش فعالیت فتوسنتزی و تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر منجر شود. در مجموع، هم‌افزایی این فرآیندها باعث کاهش رشد و نهایتاً کاهش وزن خشک گیاه می‌گردد (Acosta-Motos *et al.*, 2017). در سایر پژوهش‌ها نیز با افزایش سطح شوری، همبستگی منفی بین شوری خاک و وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی یونجه گزارش شده است. شوری بالا از طریق کاهش ظرفیت فتوسنتز، ایجاد تنش اکسیداتیو، آسیب به غشاهای سلولی و اختلال در جذب و نگهداری آب، رشد گیاه را محدود می‌کند و در نهایت موجب کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی می‌شود (Qiu *et al.*, 2021; Qiu *et al.*, 2023). بنابراین می‌توان بیان کرد که تمام اکوتیپ‌های یونجه‌باغی متحمل به شوری ۱۰۰ میلی‌مولار هستند، ولی افزایش بیشتر شوری سبب کاهش وزن خشک آن می‌گردد که با نتایج مطالعه‌های پیشین (Acosta-Motos *et al.*, 2017; Bertrand *et al.*, 2018) در مورد اثر افزایش شوری بر کاهش وزن خشک اندام هوایی و زیرزمینی مطابقت داشت.

جدول۱- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک، کمیت و کیفیت علوفه اکوتیپ‌های یونجه باغی تحت سطوح شوری

Table 1. Analysis of variance for morphological traits, forage yield, and quality of crown vetch ecotypes under salinity levels

		Mean squares									
S.O.V	df	Shoot dry weight	Root dry weight	Stem height	Root length	Crude protein	Acid detergent fiber	Neutral detergent fiber	Digestible dry matter	Crude fiber	Total ash
Ecotype (A)	9	44.7**	40**	159.3**	311**	53.46**	594**	333**	360 **	113**	23.1**
Salinity levels (B)	3	307**	251**	517.6**	1865**	914**	7311**	7658**	8014**	705.5*	597**
A × B	27	2.27**	2.08**	7.97**	80.11**	2.95**	27.55**	14.30**	13.8**	2.70*	1.10**
Error	78	0.66	0.40	2.46	8.59	1.13	5.39	2.72	5.31	0.27	0.17
CV (%)	-	10.36	6.72	7.47	3.34	7.22	5.13	3.15	4.48	3.12	3.09

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** Significant at 1% probability level

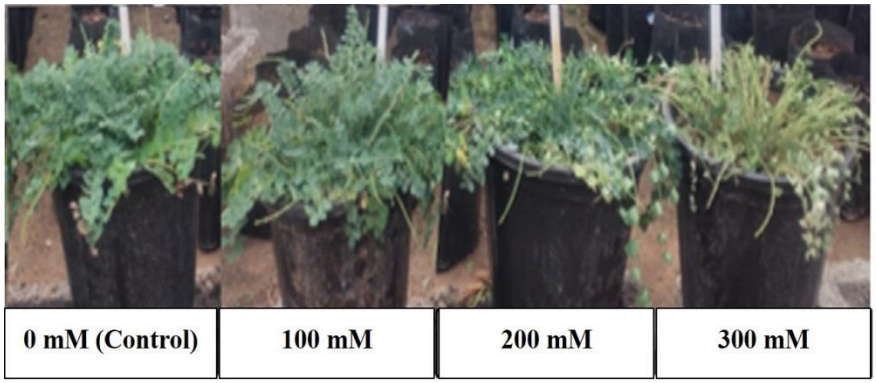
جدول۲- مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح شوری و اکوتیپ بر وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی در اکوتیپ‌های یونجه باغی

Table 2. Mean comparison of the interaction effects of salinity levels and ecotypes on shoot and root dry weight in different crown vetch ecotypes

Ecotype	Shoot dry weight per plant (gr)				Root dry weight per plant (gr)			
	Salinity (mM)				Salinity (mM)			
	0	100	200	300	0	100	200	300
Hamedan	10.55^{fg}	14.21^{b}	7.67^{i-m}	5.88^{o-q}	13.01^{b-d}	13.85^{jk}	10.19^{ef}	6.98^{po}
Nahavand	11.35^{d-f}	16.12^{a}	8.57^{h-k}	6.51^{m-p}	13.41^{ab}	14.13^{lm}	12.64^{a-c}	8.12^{s}
Paveh	7.47^{j-n}	8.7^{h-j}	4.53^{rs}	2.98^{ut}	10.76^{g-i}	11.12^{a-c}	9.16^{h-j}	8.05^{i-k}
Semnan	11.14^{ef}	15.62^{a}	8.11^{h-l}	6.23^{n-p}	13.17^{no}	14.04^{a}	10.65^{pq}	4.91^{f-h}
Sanandaj	8.78^{h-j}	12.56^{cd}	6.29^{n-p}	4.26^{r-t}	12.59^{a-c}	13.24^{f-h}	8.78^{hg}	5.83^{l-n}
Sarvabad	9.3^{gh}	13.5^{bc}	6.81^{l-o}	5.39^{p-r}	11.53^{a}	13.58^{qr}	9.81^{cd}	5.92^{r}
Saghez	8.72^{h-j}	12.14^{de}	6.29^{n-p}	3.89^{s-u}	10.49^{cd}	12.01^{cd}	8.18^{k-m}	4.77^{nm}
Kermanshah	7.7^{i-m}	8.84^{hi}	5.87^{o-q}	2.95^{tu}	8.28^{lm}	10.52^{a-c}	6.27^{r}	3.29^{k-m}
Ilam	7.37^{k-n}	8.15^{h-k}	4.52^{rs}	3.05^{tu}	9.17^{f-h}	10.58^{kl}	7.82^{k-m}	4.55^{p}
Marivan	6.27^{op}	8^{i-l}	4.67^{q-s}	2.86^{u}	7.7^{e-g}	8.37^{pq}	5.94^{f-h}	3.07^{s}

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

For each trait, means followed by the same letter are not significantly different according to the LSD test at the 1% probability level



شکل۲- اکوتیپ پاوه یونجه‌باغی پس از اعمال تیمارهای شوری در مقایسه با شاهد

Figure 2. Paveh ecotype of *Securigera varia* (perennial alfalfa) after salt treatments compared with the control

ارتفاع ساقه و طول ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح شوری، اکوتیپ و برهم‌کنش آن‌ها بر ارتفاع ساقه و طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین برهمکنش اکوتیپ و سطوح شوری نشان داد که بیشترین ارتفاع ساقه و طول ریشه برای اکوتیپ‌های نهاوند و سمنان در تمام سطوح شوری مشاهده گردید. ارتفاع ساقه و طول ریشه برای تمامی اکوتیپ‌ها در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد افزایش یافت و در شوری ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار کاهش نشان داد. در تمامی سطوح شوری بالاترین ارتفاع ساقه و طول ریشه در اکوتیپ نهاوند و سمنان مشاهده گردید (جدول ۳). نتایج حاصل از مطالعه‌های گلدانی قبلی نیز نشان داده‌اند که توسعهٔ ریشه زمانی که تنش شوری نسبتاً کم بود، افزایش یافت، درحالی‌که با تنش شوری بیشتر مهار شد (Bertrand *et al*,. 2020; Xiong *et al*., 2018) که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. بررسی اثر سطوح شوری خاک بر روی یونجه در تحقیق دیگری نشان داد که طول ریشه و ارتفاع ساقه تحت اثر بالاترین تیمار شوری خاک قرار گرفت. افزایش شوری سبب کاهش ارتفاع ساقه وطول ریشه گردید و همبستگی منفی بین شوری خاک و ارتفاع ساقه و طول ریشه یونجه گزارش شد (Qiu *et al*., 2023). نتایج ما به‌طورکلی با یافته‌های قبلی مطابقت داشت و تأیید می‌کرد که یونجه تحمل متوسطی به شوری دارد و توسعه ریشه و ساقه آن تحت اثر سطوح پایین خاصی از شوری قرار نمی‌گیرد. بااین‌وجود، هنگامی که محتوای نمک خاک بیشتر افزایش می‌یابد، رشد ریشه و ساقه به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد.

درصد پروتئین خام

اثر اکوتیپ، سطوح شوری و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر درصد پروتئین خام یونجه‌باغی معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین برهمکنش اکوتیپ و سطوح شوری نشان داد بالاترین درصد پروتئین خام (۲۴/۷۰) در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار برای اکوتیپ نهاوند و سقز و کمترین آن (۶/۹۳) برای اکوتیپ ایلام در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار به‌دست آمد. برای تمامی اکوتیپ‌ها درصد پروتئین خام در شوری ۱۰۰میلی‌مولار بالاتر از شاهد و در ۲۰۰ و ۳۰ میلی‌مولار کمتر از شاهد بود (شکل ۳). نتایج این پژوهش با نتایج محققان دیگر از نظر افزایش درصد پروتئین خام در یونجه زراعی تحت تنش شوری کم و کاهش درصد پروتئین خام با افزایش تنش شوری مطابقت داشت (Qiu *et al*., 2023; Farissi *et al*., 2018).

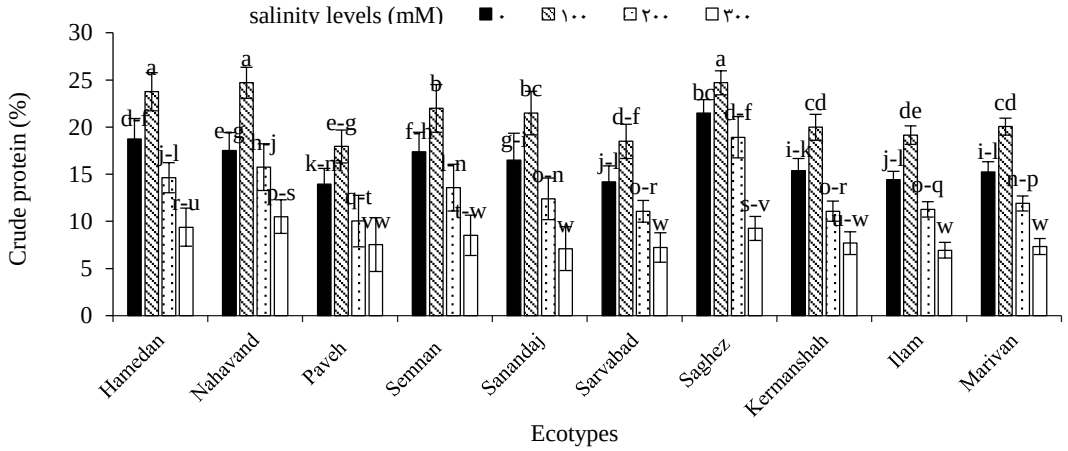
جدول۳- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح شوری و اکوتیپ بر ارتفاع ساقه و طول ریشه در اکوتیپ‌های یونجه باغی

Table 3. Mean comparison for the interaction effects of salinity stress and ecotype on dry weight and height of stem and root length, in crown vetch ecotypes under salinity stress

Ecotype	Shoot height (cm)				Root length (cm)			
	Salinity (mM)				Salinity (mM)			
	0	100	200	300	0	100	200	300
Hamedan	24^{e-f}	29.3^{bc}	20.7^{h-k}	19^{j-m}	98.51^{de}	96.34^{d-f}	84.44^{l-o}	73.61^{st}
Nahavand	32^{a}	33.33^{a}	25.7^{de}	22^{g-i}	103.92^{bc}	109.33^{a}	96.34^{d-f}	80.11^{o-q}
Paveh	18.67^{k-n}	22^{g-i}	16^{o-r}	15.7^{o-r}	88.77^{j-l}	90.93^{g-j}	74.69^{r-t}	82.27^{n-q}
Semnan	27^{cd}	31.33^{ab}	22.7^{f-h}	19.3^{j-m}	99.59^{cd}	83.35^{m-p}	77.94^{q-s}	74.69^{r-t}
Sanandaj	22^{g-i}	22.33^{f-i}	20^{i-l}	17.3^{m-p}	96.34^{d-f}	94.18^{e-h}	90.93^{g-j}	89.85^{h-j}
Sarvabad	23^{f-h}	29^{bc}	17.67^{l-o}	16^{o-r}	97.43^{de}	95.26^{d-g}	87.68^{i-m}	85.52^{k-n}
Saghez	21.33^{h-i}	28.33^{c}	16.3^{n-q}	15^{p-r}	92.01^{f-i}	92.01^{f-i}	84.44^{l-o}	77.94^{q-s}
Kermanshah	20^{i-l}	24.67^{d-f}	16.3^{n-q}	15.3^{o-r}	88.77^{i-l}	90.93^{g-j}	82.27^{n-q}	74.69^{r-t}
Ilam	18.7^{k-n}	21^{h-k}	16^{o-r}	15.7^{o-r}	86.6^{j-n}	106.09^{ab}	79.02^{p-r}	79.02^{q-r}
Marivan	16.3^{n-q}	21^{h-k}	14.3^{qr}	13.7^{r}	84.44^{l-o}	90.93^{g-i}	74.69^{r-t}	70.36^{t}

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

For each trait, means followed by the same letter are not significantly different according to the LSD test at the 1% probability level



شکل۳- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر درصد پروتئین خام (میله‌ها نشان‌دهندهٔ میانگین ± خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار (n=۳) هستند)

Figure 3. Mean comparison for the interaction effects of salinity levels and different crown vetch ecotypes on crude protein percentage (Bars represent mean ± SE based on three replicates, n = 3)

گیاهان در شرایط شوری ممکن است افزایش نسبی در نسبت برگ به ساقه، غلظت نیتروژن ساقه و محتوای پروتئین خام نشان دهند، که این تغییرات بیشتر ناشی از میان‌گره‌های کوتاه‌تر و کاهش ارتفاع گیاه است. نسبت بالای برگ به ساقه به‌طورکلی نشان‌دهندهٔ کیفیت بالاتر علوفه است و می‌تواند به افزایش محتوای پروتئین خام منجر شود (Ferreira *et al.*, 2015). در پژوهش حاضر نیز تفاوت قابل‌توجهی میان گیاهان شاهد و گیاهان تحت شوری ملایم از نظر پروتئین خام مشاهده شد که احتمالاً ناشی از افزایش تجمع نیتروژن در برگ‌ها بوده است.

بااین‌وجود، در سطوح بالاتر شوری زیست‌تودهٔ کل گیاه کاهش یافت و به دنبال آن مجموع مادهٔ خشک و پروتئین تولیدی در واحد سطح نیز کاهش پیدا کرد. بنابراین اگرچه شوری ملایم می‌تواند کیفیت نسبی علوفه را بهبود بخشد، اما در مجموع افزایش شوری منجر به کاهش عملکرد و کاهش کیفیت واقعی علوفه می‌شود.

در پژوهشی بر روی گیاه *Suaeda salsa* با افزایش شوری آب آبیاری، محتوای پروتئین خام در ابتدا به دلیل بهبود تنظیم اسمزی و افزایش سنتز ترکیبات نیتروژنه اندکی افزایش نشان داد. اما این روند تنها تا رسیدن به یک سطح آستانه‌ای از شوری (حدود ۲۰ تا ۳۰ گرم در لیتر کلرید سدیم) ادامه داشت. زمانی‌که شوری از این آستانه فراتر رود، محدودیت در جذب عناصر غذایی و اختلال در فرایندهای متابولیک موجب کاهش معنی‌دار محتوای پروتئین خام می‌گردد (Wang *et al.*, 2023).

تغییرات مشاهده‌شده در محتوای پروتئین و فیبر علوفه‌های رشد یافته در شرایط شور و قلیایی را می‌توان ناشی از چندین عامل دانست. تنش شوری و قلیایی می‌تواند منجر به کاهش جذب مواد مغذی و اختلال در فرآیندهای متابولیک شود و در نتیجه سبب کاهش ارزش غذایی علوفه شود (Andrioli, 2023). ویژگی‌های ذاتی و سازگاری‌های فیزیولوژیک گونه‌های گیاهی نقش مهمی در تعیین محتوای پروتئین و فیبر رشد علوفه در خاک‌های شور و قلیایی دارد. به‌طورکلی، اثر شوری بر علوفه گیاهی پیچیده بوده و به نوع محصول و سطح شوری بستگی دارد. درحالی‌که برخی از محصولات زراعی افزایش محتوای پروتئین و بهبود کیفیت علوفه را در سطوح بالاتر شوری نشان می‌دهند، برخی دیگر ممکن است کاهش رشد و عملکرد را تجربه کنند. تحقیقات بیشتری برای درک بهتر سازوکارهای تحمل به شوری در محصولات علوفه‌ای و توسعهٔ روش‌هایی برای بهبود بهره‌وری علوفه در مناطق تحت تأثیر شوری مورد نیاز است (Abebe and Tu, 2024).

افزایش پروتئین خام در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در این تحقیق، احتمالاً به تنظیم اسمزی مؤثرتر، افزایش جذب نیتروژن و نسبت بالاتر برگ به ساقه مرتبط است. در مقابل، کاهش محتوای پروتئین خام در سطوح بالاتر شوری می‌تواند ناشی از سمیت یونی، محدودیت جذب مواد مغذی و کاهش رشد گیاه باشد. تفاوت‌های قابل توجه بین اکوتیپ‌ها در پاسخ به شوری بر اهمیت انتخاب ژنتیکی و سازگاری فیزیولوژیکی تأکید دارد. اکوتیپ‌هایی که توانایی حفظ محتوای پروتئین بالا در سطوح مختلف شوری را دارند، گزینهٔ مناسبی برای مناطق شور هستند. این یافته‌ها بر اهمیت مدیریت شوری و انتخاب اکوتیپ‌های مناسب برای بهبود کیفیت علوفه و بهره‌وری اقتصادی یونجه‌باغی تأکید می‌کنند.

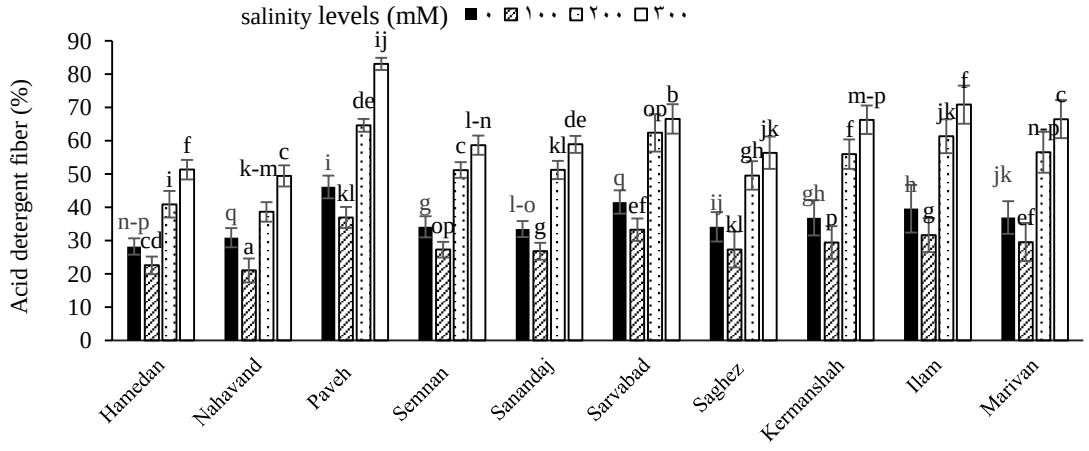
درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی و خنثی

اثر اکوتیپ، سطوح شوری و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی و خنثی یونجه‌باغی معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین برهمکنش اکوتیپ در تنش شوری نشان داد که بالاترین درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی و خنثی (به‌ترتیب ۸۳/۰۵ و ۸۵/۰۳ درصد) در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار متعلق به اکوتیپ پاوه و کمترین آن (به‌ترتیب ۲۱/۰۱ و ۳۱/۵۵ درصد) در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار متعلق به اکوتیپ نهاوند و سروآباد بود. اکوتیپ پاوه در تمام سطوح شوری بالاترین درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی و خنثی را نشان داد و اکوتیپ نهاوند در تمام سطوح شوری بجز شاهد و همدان در شاهد کمترین درصد فیبرخام در شوینده اسیدی را به خود اختصاص داد. همچنین اکوتیپ سروآباد در تمام سطوح شوری بجز ۲۰۰ میلی‌مولار و نهاوند در ۲۰۰ میلی‌مولارکمترین درصد فیبرخام در شوینده خنثی را به خود اختصاص دادند. تمامی اکوتیپ‌ها در شوری ۱۰۰میلی‌مولار درصد فیبر خام در شوینده اسیدی و خنثی نسبت به شاهد کاهش و در شوری ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد افزایش نشان دادند (شکل ۴ و ۵). فیبرخام

یک جزء کلیدی در ارزیابی کیفیت علوفه یونجه است. اجزای فیبر موجود شامل فیبر شوینده اسیدی و خنثی هستند. هر دو کیفیت علوفه یونجه خشک را کاهش می‌دهند. ساقه‌ها همچنین غلظت فیبر شوینده اسیدی خنثی بالاتری نسبت به سایر اندام‌ها دارند (Lemaire and Belanger, 2020). نتایج این پژوهش با نتایج سایر محققان از نظر کاهش درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی و خنثی در یونجه زراعی تا سطحی از شوری و سپس افزایش آن در سطوح بالاتر شوری مطابقت داشت (Farissi *et al.*, 2018; Qiu *et al.*, 2023).

در یونجه آبیاری شده با آب شور، سرعت رشد کمتر منجر به سطوح پایین‌تر فیبر شوینده اسیدی و فیبر شوینده خنثی و سطوح بالاتر نیتروژن ساقه می‌شود (Ferreira *et al.*, 2015). کاهش ارتفاع گیاهان متاثر از شوری همچنین منجر به کاهش محتوای فیبرهای خام در شوینده اسیدی و خنثی می‌شود و کیفیت علوفه را بهبود می‌بخشد (Andrioli, 2023). بااین‌حال، برخی از گونه‌های گیاهی، مانند علف‌گندمی بلند و کلزا، نسبت به شوری تحمل نشان داده و سازوکارهایی برای مقابله با تنش در نظر گرفته‌اند. این سازوکارها شامل راهبردهایی برای جلوگیری از سمیت یونی، به‌دست آوردن مواد مغذی ضروری، و مقابله با سطوح بالای pH و گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر اضافی است (Lazarevicc *et al*,. 2023).

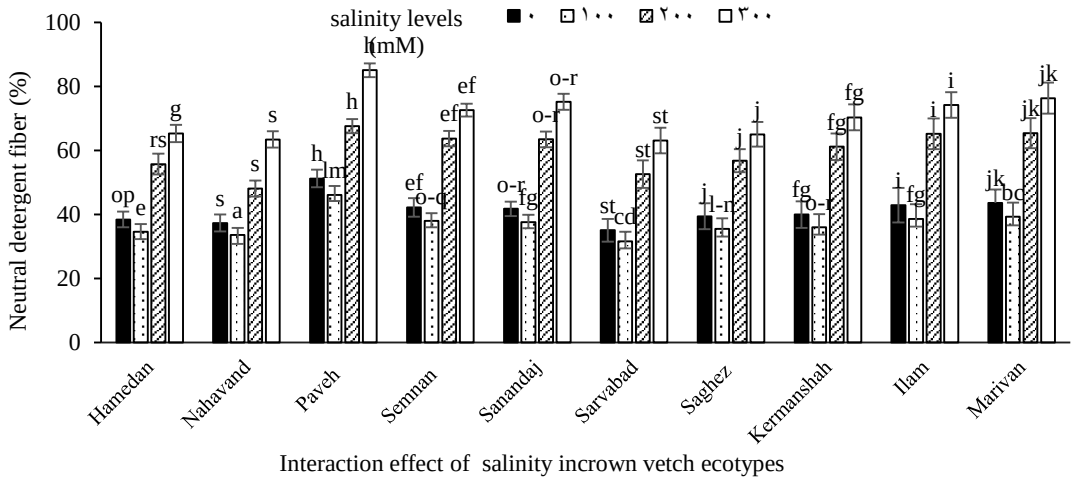
نتایج نشان داد که پاسخ فیبر خام یونجه به شوری وابسته به اکوتیپ و سطح تنش است. کاهش نسبی فیبر در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار احتمالاً ناشی از محدودیت رشد و کاهش ارتفاع است که باعث افزایش نسبت برگ به ساقه و کاهش تجمع فیبر می‌شود. افزایش فیبر در شوری‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار ممکن است به‌دلیل سازوکارهای سازگاری گیاه در پاسخ به تنش یونی و افزایش نسبت ساقه به برگ باشد. تفاوت‌های آشکار بین اکوتیپ‌ها نشان‌دهندهٔ نقش مهم ویژگی‌های ژنتیکی و فیزیولوژیک در تعیین کیفیت فیبر علوفه است. انتخاب اکوتیپ‌های مقاوم با درصد فیبر مناسب در سطوح مختلف شوری، ابزار مؤثری برای بهبود کیفیت علوفه و حفظ عملکرد یونجه در شرایط شوری محسوب می‌شود.



Interaction effect of salinity in crown vetch ecotypes

شکل ٤- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی برای درصد فیبر خام در شوینده اسیدی (میله‌ها نشان‌دهندهٔ میانگین ± خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار (n=۳) هستند)

Figure 4. Mean comparison for the interaction effects of salinity levels and different crown vetch ecotypes for acid detergent fiber percentage (Bars represent mean ± SE based on three replicates, n = 3)



شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی برای درصد فیبر خام در شوینده خنثی (میله‌ها نشان‌دهندهٔ میانگین ± خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار (n=۳) هستند)

Figure 5. Mean comparison for the interaction effects of salinity levels and different crown vetch ecotypes for neutral detergent fiber percentage (Bars represent mean ± SE based on three replicates, n = 3)

درصد مادهٔ خشک قابل هضم

اثر اکوتیپ، سطوح شوری و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم یونجه‌باغی معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین برهمکنش اکوتیپ و سطوح شوری نشان داد بالاترین درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم (۷۸/۷۶) در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، اکوتیپ نهاوند و کمترین مقدار (۲۴/۷۸) در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار در اکوتیپ ایلام مشاهده شد. به‌طورکلی کمترین درصد مادهٔ خشک قابل‌هضم در سطوح شوری ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار متعلق به اکوتیپ پاوه بود و بیشترین مقدار در سطوح شوری ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار متعلق به اکوتیپ نهاوند و در شاهد متعلق به اکوتیپ همدان بود. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار درصد مادهٔ خشک قابل هضم برای تمامی اکوتیپ‌ها بالاتر از شاهد و در شوری ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار کمتر از شاهد مشاهده گردید (شکل ۶). پایین بودن مادهٔ خشک قابل هضم علوفه احتمالاً به‌علت بودن بالا دیواره سلولی عاری از همی سلولز (درصد فیبر خام در شوینده اسیدی) آن می‌باشد (Bilal *et al.*, 2017).

تنش آبی و شوری می‌تواند فیبر را در گیاهان کاهش دهد و بنابراین قابلیت هضم مادهٔ خشک و کل مواد مغذی قابل هضم یونجه را در شرایط آزمایشگاهی بهبود بخشد (Jahanzad *et al.*, 2013). در بررسی سطوح شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در سه ژنوتیپ متحمل به شوری سورگوم نتایج نشان داد که با افزایش تنش شوری به طور قابل توجهی کیفیت علوفه ارزیابی شده از نظر قابلیت هضم مادهٔ خشک آزمایشگاهی کاهش یافت (Kaur *et al.*, 2024).

نتایج نشان داد که افزایش مادهٔ خشک قابل هضم در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار احتمالاً ناشی از کاهش محتوای فیبر خام و بهبود نسبت برگ به ساقه است، که دسترسی به مواد مغذی و قابلیت هضم را افزایش می‌دهد. کاهش مادهٔ خشک قابل هضم در شوری‌های بالاتر (۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار) ممکن است به دلیل تجمع فیبر خام، سمیت یونی و محدودیت جذب مواد مغذی باشد. تفاوت‌های قابل توجه بین اکوتیپ‌ها نشان‌دهندهٔ اهمیت سازگاری ژنتیکی و ویژگی‌های فیزیولوژیک در تعیین کیفیت علوفه تحت شوری است. انتخاب اکوتیپ‌های متحمل که بتوانند درصد مادهٔ خشک قابل هضم بالایی را در سطوح مختلف شوری حفظ کنند، برای مدیریت کیفیت علوفه و بهره‌وری اقتصادی یونجه‌باغی ضروری است.

درصد فیبر خام

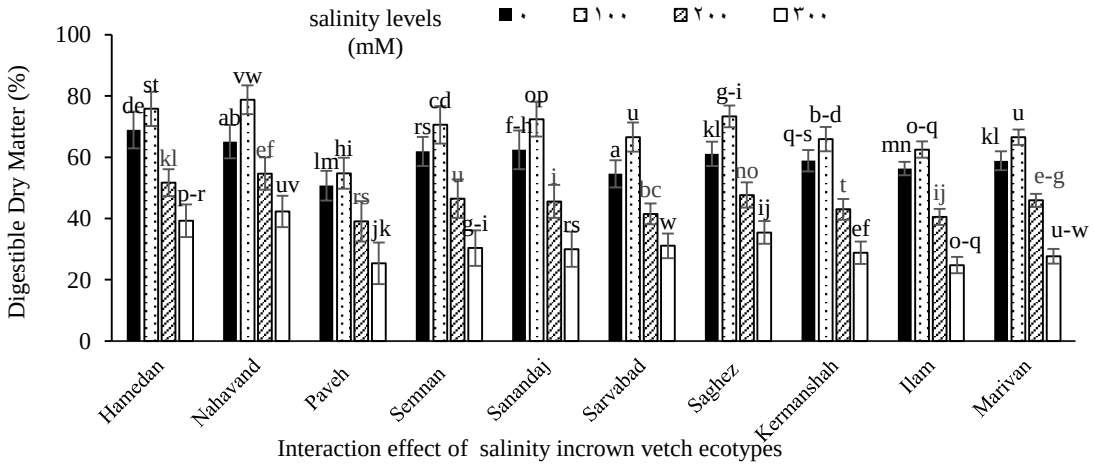
اثر اکوتیپ، سطوح شوری و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر درصد فیبر خام یونجه‌باغی معنی‌دار شد

(جدول ۱). مقایسه میانگین برهمکنش متقابل اکوتیپ در سطوح شوری نشان داد بالاترین (۳۱/۷۹) درصد فیبر خام در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار در اکوتیپ پاوه و کمترین (۱۰/۱۱) درصد فیبرخام در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در اکوتیپ همدان مشاهده گردید. به‌طورکلی در تمام اکوتیپ‌ها بجز همدان شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت شاهد کاهش و شوری ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار افزایش درصد فیبرخام را داشته است. بیشترین درصد (۱۲/۲۲) افزایش فیبرخام مربوط به اکوتیپ پاوه و کمترین درصد (۸/۲۸) آن متعلق به اکوتیپ همدان بود (شکل ۷).

پروتئین خام و فیبر دو ویژگی کیفی حیاتی یونجه هستند که پروتئین خام نشان دهندهٔ ارزش غذایی و فیبر نشان دهندهٔ خوش خوراکی و کل مواد مغذی قابل هضم است. با افزایش درصد فیبرخام از میزان خوش‌خوراکی آن کاسته می‌شود (Al-Dakheel *et al.*, 2015).

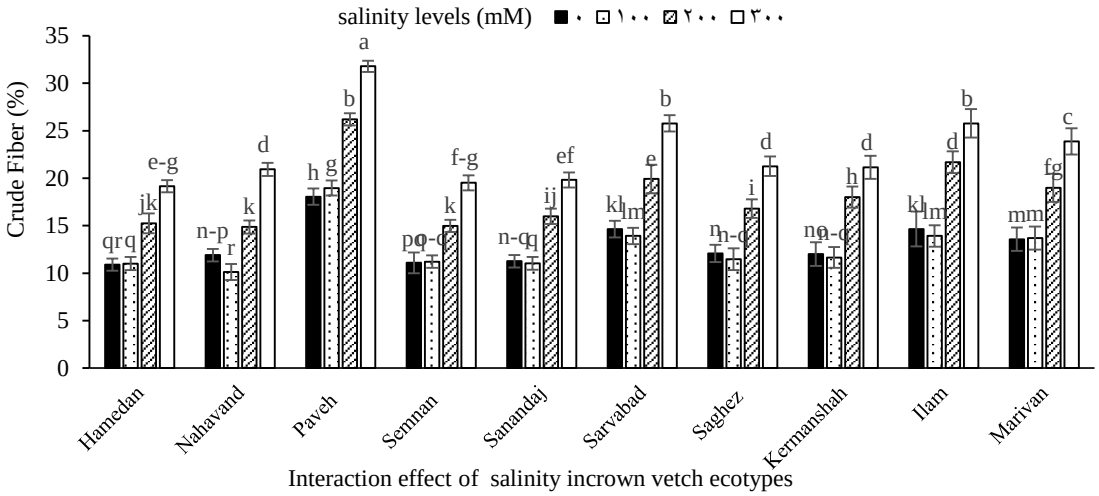
در مزارع تثبیت شده یونجه، تنش شوری منجر به کاهش وزن ساقه، نرخ رشد نسبی و ارتفاع گیاه می‌شود. همچنین در برخی موارد نسبت برگ به ساقه افزایش یافته و محتوای فیبر کاهش می‌یابد که ممکن است به‌دلیل کاهش ارتفاع گیاه باشد (Diaz *et al.*, 2018). در بررسی اثر تنش شوری و تنظیم کننده‌های رشد بر روی گندم درصد فیبرخام در شرایط تنش شوری کاهش نشان داده است (Bilal Hafeez *et al.*, 2024).

پاسخ محتوای فیبر خام یونجه به شوری وابسته به اکوتیپ و شدت تنش است. کاهش نسبی فیبر خام در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار احتمالاً ناشی از کاهش رشد ساقه و افزایش نسبت برگ به ساقه است، که منجر به کاهش محتوای فیبر و افزایش خوش‌خوراکی می‌شود. افزایش فیبر در شوری‌های بالاتر (۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار) ممکن است به‌دلیل سازوکارهای جبرانی گیاه در پاسخ به تنش یونی و افزایش نسبی ساقه به برگ رخ دهد. تفاوت‌های آشکار بین اکوتیپ‌ها نشان‌دهندهٔ اهمیت ویژگی‌های ژنتیکی و فیزیولوژیکی در تعیین کیفیت فیبر علوفه است. انتخاب اکوتیپ‌های متحمل که بتوانند درصد فیبر مناسب را در سطوح مختلف شوری حفظ کنند، برای بهبود خوش‌خوراکی، قابلیت هضم و ارزش غذایی یونجه ضروری است.



شکل ٦- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی برای درصد مادهٔ خشک قابل هضم (میله‌ها نشان‌دهنده میانگین ± خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار (n=۳) هستند)

Figure 6. Mean comparison for the interaction effects of salinity levels and different crown vetch ecotypes for detergent digestible dry matter percentage (Bars represent mean ± SE based on three replicates, n = 3)



شکل۷- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی برای درصد فیبرخام (میله‌ها نشان‌دهنده میانگین ± خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار (n=۳) هستند)

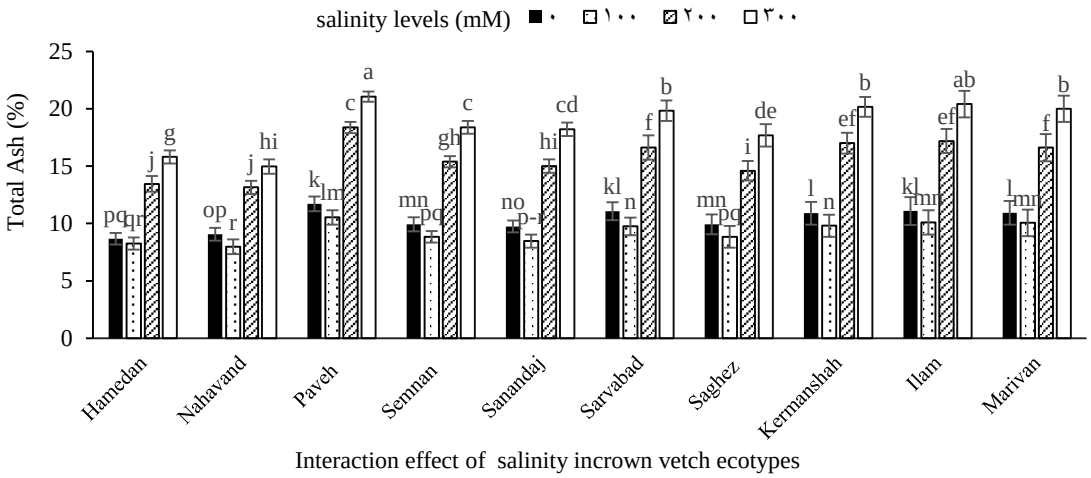
Figure 7. Mean comparison for the interaction effects of salinity levels and different crown vetch ecotypes on crud fiber percentage (Bars represent mean ± SE based on three replicates, n = 3)

درصد خاکستر کل

اثر اکوتیپ، سطوح شوری و برهمکنش آن‌ها در سطوح شوری در سطح احتمال یک درصد بر درصد خاکستر کل یونجه باغی معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین برهمکنش اکوتیپ در سطوح شوری نشان داد بالاترین درصد خاکستر کل (۱۵/۴۴) در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار مربوط به اکوتیپ پاوه و کمترین مقدار (۷/۹۹) آن در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و مربوط به اکوتیپ همدان بود. در تمامی اکوتیپ‌ها کمترین درصد خاکستر کل در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده گردید و با افزایش میزان شوری در تمام اکوتیپ‌ها میزان درصد خاکستر کل افزایش یافت (شکل ۸). در مطالعه‌ای با افزایش شوری آب آبیاری از آب شیرین به شوری بالا، محتوای خاکستر *Suaeda salsa* افزایش یافت (Wang *et al.*, 2023). تغییرات در خاکستر و محتوای مواد معدنی مشاهده شده در محصولات علوفه‌ای که در خاک‌های شور و قلیایی رشد می کنند را می‌توان به غلظت بالای نمک موجود در خاک نسبت داد. تنش شوری بر رشد گیاه اثر می گذارد و می تواند منجر به کاهش عملکرد محصول شود. با این حال، برخی از محصولات علوفه‌ای توانایی تحمل و سازگاری با سطوح بالای شوری خاک را دارند. مطالعه‌ای نشان داد که علف‌ها و حبوبات نمک‌دوست تمایل به رشد در مناطقی با افزایش شوری خاک دارند که نشان دهنده تحمل آن‌ها به تنش شوری است (Lazarevicc *et al*,. 2023). در بررسی اثر تنش شوری و تنظیم‌کننده‌های رشد بر روی گندم درصد خاکستر کل در شرایط تنش شوری کاهش یافت (Bilal Hafeez *et al.*, 2024). در پژوهشی که بر روی شش محصول زراعی شامل ذرت، سورگوم، گندم، ارزن، سویا و کلزا در شرایط خاک شور-قلیایی انجام شد، نتایج نشان داد که عملکرد زیست توده، پروتئین خام و محتوای خاکستر هر محصول در سطوح مشخصی از شوری خاک به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت (Singh *et al.*, 2022).

در این تحقیق، درصد خاکستر کل یونجه باغی به‌طور مستقیم تحت تأثیر شوری و به‌صورت وابسته به اکوتیپ قرار گرفت. افزایش خاکستر با افزایش شوری، احتمالاً ناشی از تجمع یون‌های معدنی و نمک‌ها در بافت گیاه است که یکی از سازوکارهای فیزیولوژیک گیاه برای مقابله با تنش یونی محسوب می‌شود. کمترین میزان خاکستر در شوری متوسط (۱۰۰ میلی‌مولار) نشان‌دهندهٔ شرایط بهینه رشد و تعادل مواد معدنی در گیاه است، درحالی که افزایش بیش از حد شوری موجب تجمع نمک و افزایش درصد خاکستر می‌شود. تفاوت‌های آشکار بین اکوتیپ‌ها تأکید بر اهمیت انتخاب ژنتیکی و سازگاری فیزیولوژیکی برای حفظ کیفیت مواد معدنی و عملکرد یونجه در شرایط شوری دارد. بنابراین، انتخاب اکوتیپ‌های متحمل با توانایی حفظ ترکیب شیمیایی مطلوب در سطوح مختلف شوری،

برای مدیریت کیفیت علوفه و بهره‌وری اقتصادی یونجه ضروری است.



شکل ۸- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح شوری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی برای درصد خاکستر کل (میله‌ها نشان‌دهنده میانگین ± خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار (n=۳) هستند)

Figure 8. Mean comparison for the interaction effects of salinity levels and different crown vetch ecotypes for total ash percentage (Bars represent mean ± SE based on three replicates, n = 3)

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که شوری ملایم (۱۰۰ میلی‌مولار) تأثیر مثبتی بر رشد و کیفیت علوفه اکوتیپ‌های یونجه باغی داشت. در این سطح شوری، وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی، ارتفاع بوته، طول ریشه و محتوای پروتئین خام افزایش یافت. همچنین در این شرایط، کاهش فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی، فیبر خام و خاکستر کل منجر به افزایش ماده خشک قابل هضم شد که بیانگر بهبود کیفیت علوفه بود. در مقابل، افزایش سطح شوری به ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار سبب کاهش وزن خشک اندام‌ها، ارتفاع ساقه، طول ریشه، محتوای پروتئین خام و مادهٔ خشک قابل هضم و افزایش مقادیر فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی، فیبر خام و خاکستر شد. در بین اکوتیپ‌ها، اکوتیپ نهاوند بیشترین تحمل به شوری و بهترین کیفیت علوفه را داشت، در حالی‌که اکوتیپ ایلام کمترین محتوای پروتئین خام و اکوتیپ پاوه بیشترین مقدار فیبر خام را از خود نشان دادند. این نتایج نشان می‌دهند که انتخاب اکوتیپ مناسب و مدیریت سطح شوری آب آبیاری نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود عملکرد و کیفیت علوفه یونجه در شرایط شوری دارد و می‌تواند به عنوان راهبردی مؤثر در تولید علوفه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

بدینوسیله از سرکار خانم دکتر فاطمه صابرفر برای تامین بخشی از هزینه‌های تحقیق حاضر تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

Abebe, H., & Tu, Y. (2024). Impact of salt and alkali stress on forage biomass yield, nutritive value, and animal growth performance: A comprehensive review. *Grasses*, 3(4), 355-368. https://doi.org/10.3390/grasses3040026

Acosta-Motos, J. R., Ortuno, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7, 38. https://doi.org/10.3390/agronomy7040038

Al-Dakheel, A. J., Hussain, M. I., & Rahman, A. Q. M. A. (2015). Impact of irrigation water salinity on agronomical and quality attributes of *Cenchrus ciliaris* L. accessions. *Agricultural Water Management*, 159, 148-154. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.014

AOAC. (2019). Official Methods of Analysis (21st ed.). Arington, VA: AOAC International.

Anderson, A. W., Gull, U., Benes, S. E., Singh, S., Hutmacher, R. B., Brummer, E. C., & Putnam, D. H. (2023). Salinity and cultivar effects on alfalfa forage yield and nutritive value in a Mediterranean climate. *Grassland Research*, 2(3), 153-166. https://doi.org/10.1002/glr2.12061

Andrioli, R. J. (2023). Adaptive mechanisms of tall wheatgrass to salinity and alkalinity stress. *Grass and Forage Science*, 78(1), 23-36. https://doi.org/10.1111/gfs.12585

Ayars, J. E., Soppe, R. W., & Shouse, P. (2011). Alfalfa production using saline drainage water. *Irrigation and Drainage*, 60, 123-135. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ird.534

Bertrand, A., Gatzke, C., Bipfubusa, M., Levesque, V., Chalifour, F. P., Claessens, A., Rocher, S., Tremblay, G. F., & Beauchamp, C. J. (2020). Physiological and biochemical responses to salt stress of alfalfa populations selected for salinity tolerance and grown in symbiosis with salt-tolerant rhizobium. *Agronomy*, 10, 569. https://doi.org/10.3390/agronomy10040569

Bilal, M., Ayub, M., Tariq, M., Tahir, M., & Nadeem, M. A. (2017). Dry matter yield and forage quality traits of oat (*Avena sativa* L.) under integrative use of microbial and synthetic source of nitrogen. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16, 236–241. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.08.002

Cornacchione, M. V., & Suarez, D. L. (2017). Evaluation of alfalfa (*Medicago sativa* L.) populations' response to salinity stress. *Crop Science*, 57, 137–150. https://doi.org/10.2135/cropsci2016.05.0364

Diaz, F. J., Grattan, S. R., Reyes, J. A., De La Roza-Delgado, B., Benes, S. E., Jiménez, C., Dorta, M., & Tejedor, M. (2018). Using saline soil and marginal quality water to produce alfalfa in arid climates. *Agricultural Water Management*, 199, 11–21. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.025

Farissi, M., Mouradi, M., Farssi, O., Bouizgaren, A., & Ghoulam, C. (2018). Variations in leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and membrane potential of *Medicago sativa* root cortex cells exposed to increased salinity: The role of the antioxidant potential in salt tolerance. *Archives of Biological Sciences*, 70, 413-423. https://doi.org/10.2298/ABS1802413F

Ferreira, L. J., Azevedo, V., Maroco, J., Oliveira, M. M., & Santos, A. P. (2015). Salt tolerant and sensitive rice varieties display differential methylome flexibility under salt stress. *PLoS ONE*, 10(5), e0124060. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124060

Gustine, D. L., & Moyer, B. G. (1990). Crownvetch (*Coronilla varia* L.). In *Legumes and Oilseed Crops I* (Vol. 10, pp. 341–354). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04199-5_15

Hafeez, M. B., Ghaffar, A., Zahra, N., Ahmad, N., Raza, A., Wang, R., & Li, J. (2024). Effect of plant growth regulators on water relations, proximate composition, and ascorbate/glutathione cycle of late-sown wheat under saline conditions. *Journal of Crop Health*, 76(6), 1679-1692. https://doi.org/10.1007/s10343-024-01038-z

Hou, C., Li, X., Tian, D., Xu, B., Zhang, C., Ren, J., & Chen, N. (2022). Evaluation of the effects of water and salinity stress on the growth and biochemistry of alfalfa (*Medicago sativa* L.) at the branching stage. *Sustainability*, 14(16), 10262. https://doi.org/10.3390/su141610262

ISTA. (2018). International Rules for Seed Testing. Bassersdorf, Switzerland: International Seed Testing Association.

Jahanzad, E., Jorat, M., Moghadam, H., Sadeghpour, A., Chaichi, M. R., & Dashtaki, M. (2013). Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. *Agricultural Water Management*, 117, 62–69. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.001

Kaur, N., Sohu, R. S., Bhardwaj, R., Kaur, M., Oberoi, H. K., & Singh, T. (2024). Forage quality analysis in response to salt stress and plant maturity in sorghum. *Cereal Research Communications*, 52(1), 1-10. https://doi.org/10.1007/s42976-023-00417-2

Lemaire, G., & Belanger, G. (2020). Allometries in plants as drivers of forage nutritive value: A review. *Agriculture*, 10(1), 5. https://doi.org/10.3390/agriculture10010005

Lazarevic, D., Stevovic, V., Lugic, Z., Tomić, D., Markovic, J., Zornić, V., & Prijovic, M. (2023). Quality of alfalfa (*Medicago sativa* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.) mixture silages depending on the share in the mixture and additives. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(1), 12954. https://doi.org/10.15835/nbha51112954

Nolan, J. (2007). Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. CSIRO Publishing.

Oddy, V. U., Robards, G. E., & Low, S. G. (1983). Prediction of in vivo dry matter digestibility from the fibre and nitrogen content of a feed. In G. E. Robards & R. G. Packham (Eds.), Feed information and animal production: Proceedings of the Second Symposium of the International Network of Feed Information Centres (pp. 395–398). Commonwealth Agricultural Bureaux.

Qiu, Y., Fan, Y. Q., Chen, Y., Hao, X. M., Li, S. E., & Kang, S. Z. (2021). Response of dry matter and water use efficiency of alfalfa to water and salinity stress in arid and semiarid regions of Northwest China. *Agricultural Water Management*, 254, 106934. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106934

Qiu, Y., Wang, Y., Fan, Y., Hao, X., Li, S., & Kang, S. (2023). Root, yield, and quality of alfalfa affected by soil salinity in Northwest China. *Agriculture*, 13(4), 750. https://doi.org/10.3390/agriculture13040750

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.

Simmons, M., Bertelsen, M., Windhager, S., & Zafian, H. (2011). The performance of native and nonnative turf grass monocultures and native turf grass polycultures: An ecological approach to sustainable lawns. *Ecological Engineering*, 37(8), 1095-1103. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.03.004

Singh, P., Prasad, S., Kumar, R., & Meena, N. R. (2022). Effect of sodic soil and water logged condition on forage crop and their application in breeding. *International Journal of Plant & Soil Science*, 34(24), 601-606. https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i242679

Titei, V. (2021). The prospects of cultivation and utilization of *Coronilla varia* L. in Moldova. *Oltenia Journal for Studies in Natural Sciences, Proceedings of the 28th International Conference of the Oltenia Museum*, Craiova, Romania, 37(2), 46-52.

Tariq, M., Khan, F., Shah, A. H., Fahad, S., Wahid, F., Ali, J., Adnan, M., Ahmad, M., Irfan, M., Zafar-ul-Hye, M., & 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(1), 32-40. https://doi.org/10.1111/jac.12271

Van Soest, P. J. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds: A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*, 46(1), 829-835. https://doi.org/10.1093/jaoac/46.1.829

Wang, T., Xu, Y., Zuo, Q., Shi, J., Wu, X., Liu, L., Sheng, J., Jiang, P., & Ben-Gal, A. (2023). Evaluating and improving soil water and salinity stress response functions for root water uptake. *Agricultural Water Management*, 287, 108451. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108451

Wang, N., Zhao, Z., Zhang, X., Liu, S., Zhang, K., & Hu, M. (2023). Plant growth, salt removal capacity, and forage nutritive value of the annual euhalophyte *Suaeda salsa* irrigated with saline water. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1040520. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1040520

Xiong, X., Liu, N., Wei, Y. Q., Bi, Y. X., Luo, J. C., Xu, R. X., Zhou, J. Q., & Zhang, Y. J. (2018). Effects of non-uniform root zone salinity on growth, ion regulation, and antioxidant defense system in two alfalfa cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132, 434-444. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.08.008