University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 17, No. 1, pp. 87-104 (Spring 2024)

http://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5459.2150

Original article

Effect of irrigation water salinity, ecotype and plant density on the camelthorn (*Alhagi camelorum* Fisch.) shoot and root minerals concentration and yield

M. Zangoie[1], S. Parsa[2,3*], M. Jami Al-Ahmadi[2, 3], Ali Izanloo[2, 3]

1. PhD student in Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, University of Birjand, Iran
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, University of Birjand, Iran
3. Plant and Environmental Stresses Research Group, University of Birjand

Received 9 July 2022; Accepted 2 August 2023

Extended abstract

Introduction

Camelthorn is a perennial plant belonging to fabaceae family. Camelthorn tolerance to salinity is very high and it's a halophyte plant. By using halophyte plants as species with potential for production in saline lands, many outturns can be produced in these areas, one of these products is fodder needed by livestock. Salinity and plant density are factors affecting forage quality. Increased salinity created by sodium chloride leads to an increase in sodium ions in the plant and affects the balance of sodium to potassium ratio and forage quality. Different plant ecotypes and genotypes absorb different amounts of elements in their culture medium. Considering that one of the most important areas for the development of cultivation of this plant is saline lands, which have been excluded from cultivation due to irrigation with saline water for many years with increasing soil salinity, It is necessary to study the nutrients changes in plant organs, which is one of the factors affecting forage quality in field conditions with irrigation with salt water. This study investigates the effect of irrigation water salinity in two ecotypes and different densities on the forage yield accumulation of nutrients in shoot and roots in field conditions in two locations.

Materials and methods

The experiment was conducted as a split factorial in a randomized complete block design with three replications. The experiment was analyzed in two separate locations. Experimental sites included the farm of the Faculty of Agriculture of Birjand University and the Hojjatabad farm of Peyvande Khavaran agro-industry located in Sarbishe. The experiment was conducted in 1399. Experimental Factors include ecotypes at two levels: Krond and Voshmgir, Irrigation water salinity at 3 levels of 3.5, 7.5 and 12 $dS.m^{-1}$ and plant density at two levels were 10 and 20 plants per square meter. The main plots were considered as salinity levels and the sub-plots were considered as a combination of density and ecotype levels. Sampling was performed to measurement the nutrients of shoots and roots of camelthorn in mid-October. Shoot sodium, potassium, calcium and magnesium were measured at the end of the growing season.

* Corresponding author: Soheil Parsa; E-Mail: sparsa@birjand.ac.ir

© 2024, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Results and discussion

The results showed that there is a negative relationship between the salinity and the forage yield. Application of maximum salinity level compare to the control reduced the forage fresh yield from 2825 to 1868 in Birjand and from 2425 to 1931 $kg.ha^{-1}$ in Sarbishe. The increase salinity caused a significant increase in shoot sodium in Sarbishe from 1.39 to 2.68 percentages and root sodium in Birjand from 0.126 to 0.159 percentages and a significant decrease in root potassium in Sarbishe from 3.94 to 1.78 percentage of the plant dry matter. With the increase of plant density, the magnesium of aerial parts decreased from 0.023 to 0.016 percentages in Birjand and from 0.028 to 0.02 percentages of the plant dry matter in Sarbishe. Also, root magnesium decreased significantly in Birjand (from 0.015 to 0.011%) and root potassium decreased from 5.6 to 4.8 percentages in Sarbishe, but Shoot sodium increased significantly in both places. The effect of ecotype was significant on shoot sodium and magnesium in Birjand, shoot and root potassium and root magnesium in Sarbishe.The Krond ecotype had less potassium in Sarbishe than the Voshmgir ecotype statistically significant, so it had higher forage quality. Forage produced in Sarbishe had less potassium than Birjand, so it was of higher quality.

Conclusion

Although the increase in salinity caused a decrease in the camelthorn forage yield. However, this plant had an acceptable yield in high soil salinity at the end of the season. Therefore, it is possible to produce forage in very salty lands through the cultivation of this plant. Magnesium levels of camelthorn shoot were less than the required level of livestock and supplementary feeding should be considered to meet the need for magnesium and prevent complications of magnesium deficiency in long-term feeding of camelthorn forage. The shoot potassium is higher than the critical level for livestock and in case of long-term feeding; it should be consumed in combination with low-potassium fodder. Also, due to the higher shoot potassium of Voshmgir ecotype in Sarbishe, the use of Krond ecotype is recommended because of the lower potassium level. Shoot potassium level in Sarbishe was lower than Birjand (9 in Sarbishe and 12% in Birjand), so forage produced in Sarbishe was more desirable. The shoot sodium and calcium levels are optimal and there is no need to supplementary nutrition the livestock to provide these elements. Although increased salinity increased shoot sodium, it had no effect on potassium (only root potassium in Sarbishe decreased with increasing salinity), therefore, in salinity conditions, camelthorn can maintain the potassium level of its shoots and this feature is one of the factors affecting the plant's tolerance to salinity. Increasing sodium concentration was associated with decreasing root potassium concentration, indicating competition of sodium with potassium for uptake. Also, higher sodium concentration of shoots than roots can be considered as an effective factor in salinity tolerance by increasing the gradient of osmotic potential from roots to shoots.

Acknowledgments

The authors consider it necessary for the sincere cooperation of Peyvande Khavaran agro-industry, especially the then formerly managing director of Sina Sarhadi, the production manager of Yahaghi and the manager of Hojjatabad farm, Abdollahi, as well as the laboratories of Animal Nutrition and Soil Science laboratories of Ms. Khairiyeh. Ms. Parsa and the farm officials of the Faculty of Agriculture, University of Birjand, who helped us in this research, would be very grateful.

Keywords: Birjand, Camelthorn forage, Krond and Voshmgir Ecotypes, Mineral composition, Sarbishe region

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد هفدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5459.2150

مقاله پژوهشی

تأثیر شوری آب آبیاری، اکوتیپ و تراکم گیاهی بر عملکرد و غلظت عناصر معدنی اندام هوایی و ریشه خارشتر (*Alhagi camelorum* Fisch.)

مصطفی زنگوئی[۱]، سهیل پارسا[۲،۳*]، مجید جامی الاحمدی[۲،۳]، علی ایزانلو[۲،۳]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه بیرجند
۲. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه بیرجند
۳. گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
اکوتیپ کرند و وشمگیر
بیرجند
ترکیب عناصر
سربیشه
علوفه خارشتر

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۴/۱۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۵/۱۱

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۳

۱۷(۱): ۸۷-۱۰۴

چکیده

خارشتر (***Alhagi camelorum* Fisch**) گیاهی از خانواده بقولات با خواص دارویی و قابلیت تولید علوفه است. به‌منظور بررسی تأثیر شوری آب آبیاری، تراکم و اکوتیپ بر غلظت عناصر معدنی اندام هوایی و ریشه خارشتر پژوهشی در دو منطقه، مزرعه دانشکده کشاورزی بیرجند و حجت‌آباد سربیشه در سال ۱۳۹۹، به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح شوری شامل ۳/۵، ۷/۵ و ۱۲ دسی-زیمنس بر متر به‌عنوان کرت‌های اصلی و سطوح تراکم (۱۰ و ۲۰ بوته در مترمربع) و اکوتیپ (کرند و وشمگیر) به‌عنوان کرت‌های فرعی به‌صورت فاکتوریل در نظر گرفته شدند. اعمال حداکثر شوری آب آبیاری در مقایسه با شاهد، عملکرد علوفه‌تر را در بیرجند از ۲۷۵۶ به ۱۸۶۸ و در سربیشه از ۲۴۲۵ به ۱۹۳۱ کیلوگرم در هکتار کاهش داد. همچنین شوری سبب افزایش معنی‌دار سدیم اندام هوایی در سربیشه از ۱/۳۹ به ۲/۶۸ درصد و سدیم ریشه در بیرجند از ۰/۱۲۶ به ۰/۱۵۹ درصد و کاهش معنی‌دار پتاسیم ریشه در سربیشه از ۳/۹۴ به ۱/۷۸ درصد گردید. با افزایش تراکم منیزیم اندام هوایی در بیرجند از ۰/۰۲۳ به ۰/۰۱۶ و در سربیشه از ۰/۰۲۸ به ۰/۰۲ درصد کاهش یافت. همچنین منیزیم ریشه در بیرجند به‌طور معنی‌داری (از ۰/۰۱۵ به ۰/۰۱۱) و پتاسیم ریشه در سربیشه از ۵/۶ به ۴/۸ درصد کاهش یافت ولی سدیم اندام هوایی در هر دو مکان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. مقادیر منیزیم اندام هوایی خارشتر کمتر از حد مطلوب برای دام بود و کشت با تراکم ۲۰ بوته در مترمربع این مشکل را تشدید نمود. اکوتیپ کرند در سربیشه پتاسیم کمتری نسبت به اکوتیپ وشمگیر داشت بنابراین کیفیت علوفه بالاتری داشت. علوفه تولیدی در سربیشه نسبت به بیرجند پتاسیم کمتری داشت. با توجه به وسعت اراضی شور کشور، توسعه کشت خارشتر می‌تواند به رونق تولید علوفه کمک مؤثری نماید.

مقدمه

خارشتر (*Alhagi camelorum* Fisch) گیاهی چندساله با رشد بوته‌ای از خانواده بقولات است که بومی منطقه وسیعی از مدیترانه تا روسیه است، ولی از این منطقه به بسیاری از دیگر نقاط دنیا پراکنده شده است (Saroya, 2013). این گیاه سیستم ریزومی فشرده‌ای دارد که تا ۱۵ متر در خاک نفوذ می‌کند و ارتفاع بوته آن به یک تا دو متر می‌رسد (Ali, 1977). تحمل خارشتر به شوری بسیار زیاد است و این گیاه ازجمله گیاهان شورزی[۱] محسوب می‌شود (Kurban et al., 1999).

خارشتر به‌عنوان گیاهی دارویی و علوفه‌ای (Zou et al., 2012; Muhammad et al., 2014) شناخته شده و علوفه

[1] Halophytic Plants

* نگارنده پاسخگو: سهیل پارسا. پست الکترونیک: sparsa@birjand.ac.ir

آن به‌طور گسترده‌ای در نواحی خشک و شور آسیای مرکزی، شمال غربی چین و شمال آفریقا جهت تغذیه نشخوارکنندگان (بز و شتر) مورداستفاده قرار می‌گیرد (Towhidi and Zhandi, 2007; Piri et al., 2012). علوفه خارشتر در بین گیاهان شورزی از کیفیت مناسبی برخوردار است. بیشترین میزان پروتئین خام علوفه خارشتر در مرحله رشد رویشی به میزان ۱۲/۲ درصد و کمترین میزان آن در مرحله بذردهی به میزان ۱۰ درصد گزارش شده است (Kazemi and Ghasemi Bezd, 2021). در بررسی انجام‌شده بر روی ۷ گونه گیاه رویش یافته در کویر مرنجاب شامل *Nitraria schoberia*، *Seidlitzia iranica*، *Smirnova rosmarinous*، *Stipagrostis plumosa*، *Astragalus squarrosus*، *Alhagi persarum* و *Zygophyllum eichwaldii* که شتر از آن‌ها تغذیه می‌کند، خارشتر ازنظر ماده خشک کل (۹۲/۷ درصد) بالاترین میزان و ازنظر انرژی متابولیسمی (۵/۷۲ درصد) و ماده خشک قابل‌هضم (۴۵/۴ درصد) بعد از *Seidlitzia rosmarinous* بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داد و از نظر میزان الیاف حل‌شونده در شوینده اسیدی (که با افزایش آن از کیفیت علوفه کاسته می‌شود) نیز بعد از *Seidlitzia rosmarinus* کمترین مقدار را نشان داد (Naseri et al., 2019).

تحمل به شوری بالای خارشتر به مکانیسم‌های مختلفی مربوط می‌گردد که ازجمله این مکانیسم‌ها می‌توان به حفظ پایداری غشاء سلولی و تنظیم اسمزی اشاره نمود که نسبت به اثرات یونی از اهمیت بیشتری برخوردارند (Kurban et al., 1998). همچنین مشخص‌شده که توان بالای فتوسنتزی و سرعت رشد بالای خارشتر در شرایط شوری منجر به تحمل بالای آن به این نوع تنش می‌شود (Kurban et al., 1999).

شوری و تراکم گیاهی از عوامل مؤثر بر کیفیت علوفه می‌باشند (Masters et al., 2010; Kumar et al., 2017). افزایش شوری اعمال‌شده از طریق کلرید سدیم منجر به افزایش یون سدیم در گیاه شده و تعادل نسبت سدیم به پتاسیم (Shanon, 1985; Igartua et al., 1995) و کیفیت علوفه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اکوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های مختلف گیاهی مقادیر متفاوتی از عناصر موجود در بستر کشت خود را جذب می‌کنند. گزارش شده که با افزایش شوری غلظت سدیم برگ و ریشه در ۶ توده شبدر (*Trifolium fragiferum*) افزایش یافت همچنین بین توده‌های مختلف مقدار سدیم تجمع یافته در برگ و ریشه متفاوت بود (Jekabson et al., 2022). تراکم گیاهی از عوامل مؤثر بر عملکرد و کیفیت علوفه است. گزارش شده که افزایش تراکم علاوه بر عملکرد علوفه بر بیشتر شاخص‌های کیفی آن تأثیر مثبت دارد (Kumar et al., 2017). افزایش تراکم ناشی از کاهش فواصل ردیف‌های کشت سویا علوفه‌ای (*Glycine max*) از ۷۶ به ۱۸ سانتی‌متر منجر به افزایش کیفیت علوفه سویا گردید (Seiter et al., 2004). از طرف دیگر مشاهده‌شده که افزایش تراکم در مواردی سبب افزایش ماده خشک و کاهش کیفیت علوفه تولیدی می‌گردد. افزایش تراکم بوته‌های ارقام مختلف سورگوم منجر به کاهش معنی‌دار کیفیت علوفه تولیدی گردید (Jahanzad et al., 2013). با افزایش تراکم بوته سایه‌اندازی افزایش‌یافته و رقابت بر سر نور در کانوپی افزایش می‌یابد (Sher et al., 2018). افزایش تراکم در هر دو رقم گلرنگ (گلدشت و فرامان) سبب کاهش کیفیت علوفه شد که دلیل آن کاهش نسبت برگ به ساقه بود (Delfani et al., 2022) که منجر به افزایش نسبت ساقه و ضخامت دیواره سلولی می‌شود (Baghdadi et al., 2012). گزارش شده که با افزایش تراکم بوته در *Sorghum almum* مقادیر کلسیم و فسفر موجود در علوفه این گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Olanite et al., 2010).

از مهم‌ترین عرصه‌های هدف برای توسعه کشت گیاهان شورزی (ازجمله خارشتر) اراضی حاشیه‌ای می‌باشند که به دلیل شوری بالای منابع آب‌وخاک قابلیت تولید گیاهان زراعی رایج را ندارند. البته کاشت گیاهان در این شرایط می‌تواند منجر به تجمع عناصر معدنی در حدی آسیب‌زا برای دام گردد؛ بنابراین بررسی تغییرات عناصر غذایی موجود در اندام گیاه که از عوامل مؤثر بر کیفیت علوفه است در شرایط کشت زراعی با آب‌شور ضروری است. این تحقیق به بررسی تأثیر شوری آب آبیاری در دو اکوتیپ و تراکم مختلف بر عملکرد علوفه‌تر و تجمع عناصر غذایی موجود در اندام هوایی و ریشه خارشتر در شرایط مزرعه‌ای در دو مکان می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی و تیمارها

این آزمایش در سال ۱۳۹۹ و در دو مکان اجرا گردید. مکان‌های آزمایش شامل مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با ارتفاع متوسط ۱۴۱۰ متر از سطح دریا و بارندگی سالانه ۱۶۱ میلی‌متر و مزرعه حجت‌آباد سربیشه وابسته به کشت و صنعت پیوند خاوران با ارتفاع متوسط ۱۶۲۰ متر از سطح دریا

و بارندگی سالانه ۷۰ میلی‌متر بودند. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد و در دو مکان به‌صورت مجزا تجزیه گردید. فاکتورهای آزمایش شامل: شوری آب آبیاری در ۳ سطح: ۳/۵ (شاهد)، ۷/۵ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و تراکم در دو سطح ۲۰ بوته در مترمربع (فاصله روی ردیف ۱۰ و بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر) و ۱۰ بوته در مترمربع (فاصله روی ردیف ۲۰ و بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر) و اکوتیپ در دو سطح: وشمگیر و کرند بودند. اکوتیپ وشمگیر از اطراف سد وشمگیر واقع در ۴۰ کیلومتری غرب گنبدکاووس با متوسط ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریای آزاد و بارندگی ۴۰۰ میلی‌متر و اکوتیپ کرند از منطقه‌ای به همین نام در مجاورت مرز ترکمنستان و در ۱۴۰ کیلومتری شمال شرقی گنبدکاووس با بارندگی کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر جمع‌آوری شد. کرت‌های اصلی شامل سطوح شوری و کرت‌های فرعی شامل فاکتوریل سطوح تراکم و اکوتیپ بودند.

اعمال تیمارها

سطوح شوری آب آبیاری با استفاده از انحلال نمک کلرید سدیم در آب و تنظیم با استفاده از دستگاه سنجش هدایت الکتریکی اعمال شدند. دور آبیاری بر اساس زمان رسیدن رطوبت وزنی خاک به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تعیین شد (Zang et al., 2016). بدین‌صورت که در ابتدای شروع آزمایش نمونه خاکی از دو مکان تهیه شد و رطوبت اشباع و ظرفیت زراعی خاک تعیین شد. سپس به‌صورت روزانه رطوبت خاک مزرعه با انتقال نمونه خاک مرطوب به آزمایشگاه تعیین و مشخص شد که خاک پس از هفت روز به پنجاه‌درصد ظرفیت زراعی رسیده است. بر این اساس دور آبیاری هفت روز تعیین شد (Klute, 1986). حجم آب آبیاری برای کلیه کرت‌ها برابر ۲۰۰ لیتر در تعیین‌شده و اعمال شوری تدریجی بود. بدین‌صورت که طی سه هفته به حد نهایی تیمارها رسانده شد. ابعاد کرت‌ها ۳ در ۴ متر بود کاشت به روش نشایی انجام شد. جهت شکستن خواب بذر از اسیدسولفوریک ۹۸ درصد (مرک آلمان) به مدت ۵ دقیقه استفاده شد سپس بذرها سه مرتبه هر بار به مدت ۳ دقیقه در معرض آب جاری آبشویی شدند. جهت تولید نشاء از سینی‌های کشت پرشده با کوکوپیت استفاده شد. نشاءها اواخر بهمن در داخل گلخانه کشت‌شده و تا زمان انتقال با آب شیرین با هدایت الکتریکی ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شدند. کشت نشاء خارشتر در زمین اصلی و در هر دو منطقه به‌صورت شیاری در اواخر اردیبهشت ۱۳۹۹ انجام شد. پس از کاشت نشاءها به مدت یک ماه با آب ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شدند و پس از استقرار گیاهچه‌ها تیمارهای شوری به مدت هفتاد روز اعمال گردید. شرایط دمایی و بارندگی دوره رشد خارشتر در سربیشه و بیرجند در شکل ۱ و نتایج آزمون خاک قبل کاشت در جدول ۱ نشان داده شده است.

اندازه‌گیری صفات

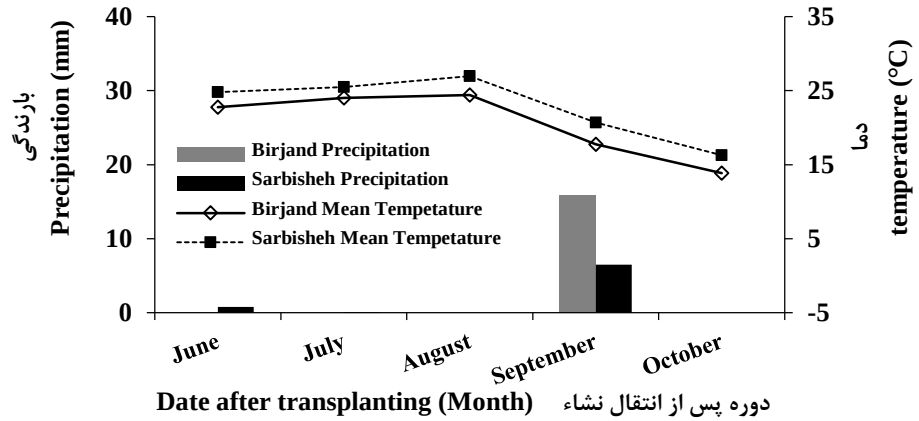
نمونه‌برداری جهت بررسی عناصر غذایی اندام هوایی و ریشه خارشتر اواسط مهرماه انجام شد. مقادیر سدیم و پتاسیم علوفه با روش اوون (Owen, 1992) و کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با EDTA (Danayi Rad, 2016) در انتهای فصل رشد یعنی در اواسط مهرماه (مرحله رشد رویشی) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد در دهم مهرماه از هر کرت ۲ مترمربع به‌صورت تصادفی برداشت و با ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌دهم گرم وزن گردید.

جدول ۱. نتایج آزمایش خاک قبل از کشت.

Table 1. Soil analysis results before transplanting

مکان Location		هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	بافت خاک Soil Texture	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	ماده آلی Organic Mater	نسبت سدیم تبادلی SAR
		$dS.m^{-1}$			%	--------ppm------		%	
Birjand	**بیرجند**	4.23	7.92	Sandy Loam	0.15	7.8	305	0.3	6.34
Sarbishe	**سربیشه**	5.49	7.62	Sandy Loam	0.18	8.4	320	0.36	8.18

نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک گرفته شده است. The sample was taken from the depth of 0 to 30 cm



شکل ۱. میانگین درجه حرارت و مجموع بارندگی ماهانه دوره رشد در بیرجند و سربیشه.

Fig. 1. Mean temperature and sum of precipitation in camelthorn growth duration after sowing to field at Birjand and Sarbishe.

جدول ۲. شوری خاک در انتهای دوره رشد.

Table 2. Soil salinity at the end of growth season.

شوری آب آبیاری Salinity of Irrigation Water ($dS.m^{-1}$)	شوری خاک در انتهای دوره End season soil salinity ($dS.m^{-1}$)	
	Birjand بیرجند	Sarbishe سربیشه
3.5	7.9	11.1
7.5	13.2	16.94
12	18.16	26.6

نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک گرفته شده است

The sample was taken from the depth of 0 to 30 cm

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

تجزیه‌وتحلیل داده‌های با نرم‌افزار GenStat ver. 12 و مقایسه میانگین‌ها با روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. داده‌های غیرنرمال دو صفت پتاسیم و سدیم اندام هوایی (علوفه) منطقه بیرجند به ترتیب توسط Ln و LnLn قبل از تجزیه نرمال شدند. آزمون بارتلت جهت ارزیابی همگنی واریانس‌های دو مکان انجام و به دلیل معنی‌داری آن تجزیه در دو مکان به‌صورت مجزا انجام شد. جهت بررسی تأثیر شوری خاک در انتهای دوره رشد بر عملکرد علوفه از رگرسیون نمایی بین عملکرد علوفه‌تر و شوری خاک استفاده گردید.

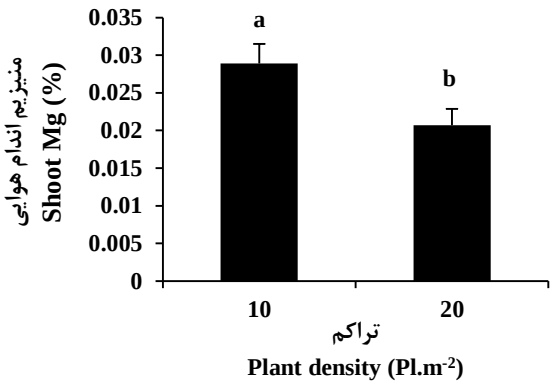
نتایج و بحث

کلسیم اندام هوایی (علوفه)

اثرات ساده شوری، اکوتیپ و تراکم بر کلسیم اندام هوایی در هیچ‌کدام از دو مکان معنی‌دار نشد (جدول ۳). اثر متقابل شوری در تراکم بر کلسیم اندام هوایی در سربیشه معنی‌دار بود (جدول ۳). در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع در سربیشه با افزایش شوری از ۳/۵ به ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر کلسیم اندام هوایی به‌طور معنی‌داری (۱۸ درصد) افزایش و با افزایش بیشتر شوری به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کلسیم اندام هوایی (۲۰ درصد) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). افزایش کلسیم اندام هوایی با افزایش شوری از سطح شاهد تا سطوح متوسط شوری در پژوهش‌های دیگر نیز مشاهده شده است. ازجمله گزارش شده که از بین چهار رقم یونجه موردبررسی در دو رقم (سالادو و SW84421) با افزایش شوری از ۳/۱ به ۷/۲ دسی‌زیمنس بر متر میزان کلسیم اندام هوایی افزایش و با افزایش بیشتر شوری به ۱۲/۷ دسی‌زیمنس بر متر و سطوح بالاتر آن در همه ارقام کاهش یافت (Cornacchione and Suarez, 2015). در سطوح بالای شوری غشاء ریشه گیاه قابلیت تشخیص کلسیم از سدیم را ازدست‌داده که این امر منجر به کاهش غلظت کلسیم بوته می‌شود (Ashraf, 2004) به‌گونه‌ای که حتی افزایش اندک غلظت کلسیم در محلول نمک نیز مانع کاهش غلظت کلسیم اندام هوایی گیاه در غلظت‌های بالای شوری نمی‌گردد (Cornacchione and Suarez, 2015).

منیزیم اندام هوایی

اثرات اصلی اکوتیپ و تراکم و اثر متقابل اکوتیپ در تراکم بر میزان منیزیم اندام هوایی خارشتر در منطقه بیرجند معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر اصلی تراکم و اثر متقابل شوری در اکوتیپ بر منیزیم اندام هوایی خارشتر در سربیشه معنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش تراکم در سربیشه سبب کاهش معنی‌دار (۲۸ درصد) منیزیم اندام هوایی خارشتر گردید (شکل ۲).



شکل ۲. اثر تراکم بر محتوی منیزیم اندام هوایی **در سربیشه.**

Fig. 2. Effect of plant density on shoot Mg content in Sarbishe

در بیرجند افزایش تراکم در اکوتیپ کرند تأثیر معنی‌داری بر منیزیم اندام هوایی نداشت ولی در اکوتیپ وشمگیر با افزایش تراکم منیزیم اندام هوایی به‌طور معنی‌داری (۳۵ درصد) کاهش یافت (جدول ۶). در اکوتیپ کرند در منطقه سربیشه با افزایش شوری از ۳/۵ به ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر منیزیم اندام هوایی به‌طور معنی‌داری (۷۰ درصد) افزایش یافت ولی با افزایش بیشتر شوری از ۷/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر منیزیم اندام هوایی به‌طور معنی‌داری (۲۹ درصد) کاهش یافت (جدول ۷). از طرف دیگر در اکوتیپ وشمگیر با افزایش شوری از ۳/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر منیزیم اندام هوایی به‌طور معنی‌داری (۵۶ درصد) کاهش یافت (جدول ۷). اختلاف غلظت منیزیم اندام هوایی گیاه بین ارقام مختلف یک گونه گزارش شده است (Gross and Jung, 1978). منیزیم در بسیاری از فعالیت‌های آنزیمی گیاه (Marschner, 2012) و ساختار کلروفیل (Kirkby et al., 2012) نقش دارد. همچنین این عنصر عامل مهمی در پایداری ریبوزوم بوده و بنابراین در سنتز پروتئین نیز نقش دارد (Moor et al., 2020). غلظت منیزیم اندام‌های گیاهی حدود ۲ گرم بر کیلوگرم است (Moor et al., 2020). مقادیر پایین منیزیم اندام هوایی منجر به کاهش سرم خون احشام شده و در نتیجه منجر به عارضه‌ای جدی به نام کزاز عضلانی می‌شود (Moor et al., 2020). غلظت منیزیم یونجه در محدوده کفایت آن برای گیاه ۰/۲ تا ۰/۷ درصد گزارش شده است (Cornachione et al., 2015). افزایش غلظت کلسیم خاک در شرایط شوری می‌تواند جذب منیزیم را تحت تأثیر قرار دهد زیرا برای جذب در مکان‌های اتصال موجود در غشاء پلاسمایی با هم رقابت می‌کنند (Marschner, 2012). اثرات آنتاگونیستی بین کلسیم و منیزیم در شرایط شوری در یونجه گزارش شده است (Khorshidi et al., 2009). منیزیم موردنیاز گاوهای پرواری بین ۰/۱ تا ۰/۲ درصد و حداکثر منیزیم قابل‌تحمل در این دام‌ها ۰/۴ درصد است (NASEM, 2016). منیزیم اندام هوایی خارشتر در این پژوهش در بیرجند بین ۰/۰۱۸ تا ۰/۰۲۹ درصد و در سربیشه بین ۰/۰۱۴ تا ۰/۰۳۴ درصد بود که مقادیر بسیار پایینی را نشان می‌دهد، بنابراین تغذیه تکمیلی جهت تأمین این دو عنصر در دام‌های تعلیف شده با خارشتر ضروری به نظر می‌رسد.

پتاسیم اندام هوایی

اثر هیچ‌کدام از عوامل موردبررسی بر پتاسیم اندام هوایی خارشتر در بیرجند معنی‌دار نبود (جدول ۳). در سربیشه اثر اصلی اکوتیپ و اثر متقابل اکوتیپ در تراکم بر پتاسیم اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش تراکم در اکوتیپ کرند میزان پتاسیم اندام هوایی در سربیشه به‌طور معنی‌داری (۱۴/۸ درصد) افزایش یافت، ولی در اکوتیپ وشمگیر افزایش تراکم تأثیری بر پتاسیم اندام هوایی نداشت (جدول ۶). اختلاف مقادیر پتاسیم بین ارقام مختلف یونجه نیز گزارش شده است مقادیر پتاسیم اندام هوایی یونجه بین ۲/۶۵ تا ۴/۶۴ درصد گزارش شد (Cornachione et al., 2015). محدوده کفایت پتاسیم علوفه بین ۲/۲۵ تا ۳/۴ درصد است (Cornachione et al., 2015). مقادیر اضافی پتاس می‌تواند منجر به تولید مواد آلکالوئیدی و نیز کاهش جذب کلسیم و منیزیم شده و منجر به بروز بیماری در احشام گردد (Goff and Horst, 1997). بر این اساس مقادیر پتاسیم اندام هوایی خارشتر در این پژوهش بالاتر از حد بحرانی است؛ بنابراین بایستی این علوفه در ترکیب با سایر علوفه‌های دارای پتاسیم پایین به مصرف دام برسد. تأثیر افزایش تراکم بر کاهش جذب پتاسیم اندام هوایی در پژوهش‌های دیگر نیز مشاهده شده است. رایموند و همکاران (Raymond et al., 2009) مشاهده کردند که با افزایش تراکم بوته‌های ذرت از ۴/۹ تا ۷/۴ بوته در مترمربع مقادیر پتاسیم اندام هوایی ذرت افزایش یافت ولی با افزایش بیشتر تراکم به ۸/۶ بوته در مترمربع پتاسیم اندام هوایی کاهش پیدا کرد که دلیل آن رقیق شدن پتاسیم در محیط ریشه به دلیل بیوماس بالا است.

جدول ۳. میانگین مربعات مقادیر عناصر معدنی اندام هوایی خارشتر تحت تأثیر شوری آب آبیاری، تراکم، اکوتیپ در بیرجند و سربیشه.

Table 3. Mean square of camelthorn Shoot minerals affected by irrigation salinity, plant density, ecotypes in Birjand and Sarbishe.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	منیزیم اندام هوایی Shoot Mg^{2+}	سدیم اندام هوایی Shoot Na^{+}	پتاسیم اندام هوایی Shoot K^{+}	کلسیم اندام هوایی Shoot Ca^{2+}	عملکرد علوفه‌تر Forage fresh yield
				Birjand بیرجند			
Block	**بلوک**	2	0.000003^{ns}	0.012^{ns}	0.004^{ns}	0.000008^{ns}	306315^{ns}
Salinity (S)	**شوری**	2	0.000138^{ns}	0.084^{ns}	0.014^{ns}	0.000224^{ns}	4859795^{*}
Residual	**خطا**	4	0.0000685	0.018	0.002	0.000082	721537
Ecotype (E)	**اکوتیپ**	1	0.000249^{**}	0.367^{**}	0.004^{ns}	0.000025^{ns}	286136^{ns}
Density (D)	**تراکم**	1	0.000179^{**}	0.408^{**}	0.004^{ns}	0.000205^{ns}	117135^{ns}
S × E	**اکوتیپ× شوری**	2	0.000006^{ns}	0.009^{ns}	0.004^{ns}	0.0000003^{ns}	469069^{ns}
S × D	**تراکم × شوری**	2	0.000016^{ns}	0.092^{*}	0.001^{ns}	0.000075^{ns}	477809^{ns}
E × D	**تراکم × اکوتیپ**	1	0.000331^{**}	0.500^{**}	0.004^{ns}	0.000005^{ns}	31359^{ns}
S × E × D	**اکوتیپ ×شوری × تراکم**	2	0.000024^{ns}	0.059^{ns}	0.005^{ns}	0.00009^{ns}	118997^{ns}
Residual	**خطا**	18	0.0000112	0.022	0.001	0.000065	4597095^{ns}
C.V (%)	**ضریب تغییرات**		*15.5*	*15.7*	*10.5*	*18.8*	*22.3*
				Sarbishe سربیشه			
Block	**بلوک**		0.51^{ns}	1.37^{ns}	0.0000008^{ns}	0.000024^{ns}	584079^{ns}
Salinity (S)	**شوری**		6.50^{**}	3.26^{ns}	0.000356^{ns}	0.000088^{ns}	2726666^{ns}
Residual	**خطا**		0.16	1.22	0.000113	0.000042	1810527
Ecotype (E)	**اکوتیپ**		0.01^{ns}	4.42^{*}	0.000004^{ns}	0.000093^{ns}	179988^{ns}
Density (D)	**تراکم**		1.70^{**}	2.18^{ns}	0.000595^{**}	0.000121^{ns}	232244^{ns}
S × E	**اکوتیپ× شوری**		0.23^{ns}	0.40^{ns}	0.000492^{**}	0.000088^{ns}	33861^{ns}
S × D	**تراکم × شوری**		1.11^{**}	1.50^{ns}	0.00019^{ns}	0.000280^{**}	306700^{ns}
E × D	**تراکم × اکوتیپ**		1.01^{**}	5.15^{*}	0.000002^{ns}	0.0000027^{ns}	457991^{ns}
S × E × D	**اکوتیپ ×شوری × تراکم**		0.78^{**}	1.47^{ns}	0.000016^{ns}	0.000060^{ns}	317692^{ns}
Residual	**خطا**		0.10	0.76	0.0000602	0.000041	5269104
C.V (%)	**ضریب تغییرات**		*17.3*	*9.3*	*31.3*	*16.2*	*26.5*

ns و * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می دهد.

ns, * and ** showed that non-significant, significant at the probability levels of 5 and 1 percentage

سدیم اندام هوایی

اثر اصلی اکوتیپ و تراکم و اثر متقابل شوری در تراکم و اکوتیپ در تراکم بر سدیم اندام هوایی خارشتر در بیرجند معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین در سربیشه اثر اصلی شوری و تراکم و اثر متقابل شوری در تراکم، اکوتیپ در تراکم و شوری در اکوتیپ در تراکم بر میزان سدیم اندام هوایی معنی-دار بود (جدول ۳).

در هر دو مکان موردمطالعه افزایش تراکم در سطح شوری ۷/۵ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر منجر به افزایش معنی‌دار سدیم اندام هوایی گردید ولی افزایش تراکم در سطح شوری ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر تأثیری بر افزایش سدیم اندام هوایی نداشت (جدول ۴). در هر دو مکان موردمطالعه افزایش تراکم بوته تأثیری بر افزایش سدیم اندام هوایی در رقم کرند نداشت ولی در اکوتیپ وشمگیر با افزایش تراکم سدیم اندام هوایی به‌طور معنی‌داری (۵۸ درصد در بیرجند و ۵۲ درصد در سربیشه) افزایش یافت (جدول ۶). در سربیشه در کلیه سطوح تراکم و اکوتیپ‌های موردبررسی افزایش شوری از ۳/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش معنی‌دار سدیم علوفه

گردید و بالاترین مقدار سدیم اندام هوایی (۳/۴۳ درصد) در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در اکوتیپ وشمگیر و در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع مشاهده گردید (جدول ۸). سدیم به‌عنوان عنصری کم‌مصرف در اغلب گیاهان چهار کربنه موردنیاز است، ولی برای رشد گیاهان سه کربنه ضروری نیست (Marschner, 2012). این عنصر در گیاهان چهار کربنه در سنتز آنزیم فسفواینول پیرووات نقش دارد و در گیاهان گلیکوفیت به‌عنوان جانشین پتاسیم در تنظیم اسمزی شرکت می‌کند (Moor et al., 2020). گزارش شده که با افزایش غلظت نمک کلرید سدیم مقادیر سدیم اندام هوایی در همه گیاهان هالوفیت و گلیکوفیت موردبررسی افزایش یافت و مقدار سدیم اندام هوایی یونجه در غلظت ۳۰۰ میلی-مولار محلول کلرید سدیم به ۲/۳ درصد رسید درحالی‌که در گیاهان هالوفیت ازجمله هالوژتون (*Halogeton glomeratus*) به ۱۰/۸ درصد، در گراس هالوفیت (*Thinopyrum ponticum*) به ۴/۲ درصد و در سه اکوتیپ گیاه کوشیا (Gardners SB, Immigrant FK, Snowstorm FK) به ترتیب ۱۰، ۴ و ۶ درصد بود (Waldron et al., 2020).

جدول ۴. اثرمتقابل شوری و تراکم بر عناصر معدنی اندام هوایی و ریشه خارشتر.

Table 4. Interaction between salinity and density on camelthorn Shoot and root minerals.

شوری Salinity	تراکم Density	بیرجند Birjand: سدیم اندام هوایی Shoot Na^+	کلسیم ریشه Root Ca^{2+}	منیزیم ریشه Root Mg^{2+}	سربیشه Sarbishe: سدیم اندام هوایی Shoot Na^+	کلسیم اندام هوایی Shoot Ca^{2+}	منیزیم ریشه Root Mg^{2+}	سدیم ریشه Root Na^+	پتاسیم ریشه Root K^+
$dS.m^{-1}$	$Pl.m^{-2}$	----------(%)----------							
3.5	10	1.225^{bc}	0.0136^{b}	0.018^{a}	1.483^{d}	0.041^{ab}	0.0162^{b}	0.1767^{a}	3.696^{a}
	20	1.292^{bc}	0.014^{ab}	0.0152^{ab}	1.297^{de}	0.035^{b}	0.0216^{ab}	0.1275^{b}	4.2^{a}
7.5	10	1.083^{c}	0.0123^{b}	0.0096^{cd}	0.917^{e}	0.036^{b}	0.0142^{b}	0.14^{b}	1^{c}
	20	1.45^{b}	0.016^{ab}	0.0126^{bc}	1.95^{c}	0.049^{a}	0.0272^{a}	0.1467^{b}	0.917^{c}
12	10	1.217^{bc}	0.0176^{a}	0.0194^{a}	2.457^{b}	0.035^{b}	0.0282^{a}	0.2^{a}	2.608^{b}
	20	1.742^{a}	0.0133^{b}	0.0076^{d}	2.917^{a}	0.039^{b}	0.012^{b}	0.1467^{b}	0.967^{c}
LSD		*0.254*	*0.0038*	*0.0049*	*0.385*	*0.0077*	*0.0096*	*0.0299*	*0.432*

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability levels.

هالوفیت‌ها برخلاف گلیکوفیت‌ها می‌توانند غلظت‌های بالای سدیم را در اندام هوایی خود تحمل کنند به‌عنوان نمونه در *Salicornia maritime* زمانی که در معرض ۳۴۰ میلی-مولار شوری قرار گرفت غلظت سدیم برگ آن به ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌مولار افزایش یافت (Flowers et al., 2015). همچنین برخی هالوفیت‌ها ازجمله گونه‌های جنس *Tecticornia* غلظت‌هایی از سدیم در حد ۱/۵ مولار را در اندام هوایی خود تحمل کرده و در این شرایط به رشد خود ادامه می‌دهند درحالی‌که برنج به‌عنوان یک گلیکوفیت قدرت تحمل غلظت-هایی از سدیم برگ در حد ۱۰۰ میلی‌مولار را ندارد (Ul Haq et al., 2013). سدیم در اغلب گیاهان علوفه‌ای به میزانی کمتر از حد موردنیاز دام‌ها وجود دارد (NASEM, 2016). بررسی تعدادی از گیاهان بوته‌ای، علف‌های چمنی و گیاهان چوبی دارای سرشاخه‌های خوراکی نشان داد که همه این گیاهان کمتر از ده درصد سدیم موردنیاز گاو گوشتی را می-توانند تأمین نمایند (Alldredge et al., 2002). نیاز غذایی گاو گوشتی به سدیم ۰/۱ درصد است (Moor et al., 2020) و حد قابل‌تحمل آن در دام مذکور ۱۰ درصد است (NRC, 1996). درحالی‌که بر اساس نتایج ما مقدار سدیم اندام هوایی خارشتر در حد مطلوب برای دام‌ها است. سدیم در حیوانات کاتیون اصلی جریان‌های برون سلولی است و در چندین عمل فیزیولوژیک ازجمله فشارخون، تنظیم اسمزی، تعادل اسیدیته بافت، انقباض ماهیچه‌ها و انتقال پیام‌های عصبی نقش دارد (Robbins, 1993). اثر افزایش تراکم بر افزایش تجمع مواد معدنی در ارزن مروارید نیز گزارش شده است (Aghaalikhani et al., 2008). افزایش شوری آب آبیاری سبب افزایش معنی‌دار مقادیر سدیم اندام هوایی در ۴ رقم یونجه گردید (Cornacchione and Suarez, 2015).

همچنین بین مقادیر سدیم اندام هوایی ارقام مختلف یونجه در سطوح مختلف شوری اختلاف معنی‌داری وجود داشت مشخص گردید که ارقام یونجه قابلیت محدودسازی انتقال سدیم را دارند (Cornacchione and Suarez, 2015) و اختلاف سدیم اندام هوایی آن‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت قابلیت محدودسازی انتقال سدیم جهت جذب آن در ارقام مختلف باشد.

جدول ۵. میانگین مربعات مقادیر عناصر معدنی ریشه خارشتر تحت تأثیر شوری آب آبیاری، تراکم، اکوتیپ در بیرجند و سربیشه.

Table 5. Mean square of camelthorn root minerals affected by irrigation salinity, plant density, ecotypes in Birjand and Sarbishe.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	منیزیم ریشه Root Mg^{2+}	سدیم ریشه Root Na^{+}	پتاسیم ریشه Root K^{+}	کلسیم ریشه Root Ca^{2+}
				Birjand	بیرجند	
Block	بلوک	2	0.000001^{ns}	0.001^{ns}	1.70^{ns}	0.00005^{ns}
Salinity (S)	شوری	2	0.000091^{*}	0.004^{*}	1.96^{ns}	0.000009^{ns}
Residual	خطا	4	0.000011	0.0002	5.04	0.00001
Ecotype (E)	اکوتیپ	1	0.000016^{ns}	0.0003^{ns}	0.22^{ns}	0.0000027^{ns}
Density (D)	تراکم	1	0.000134^{*}	0.0008^{ns}	10.80^{**}	0.0000001^{ns}
S × E	اکوتیپ× شوری	2	0.000036^{ns}	0.00001^{ns}	2.40^{ns}	0.000049^{*}
S × D	تراکم × شوری	2	0.000136^{**}	0.00001^{ns}	0.29^{ns}	0.000048^{*}
E × D	تراکم × اکوتیپ	1	0.0000001^{ns}	0.001^{ns}	3.62^{ns}	0.000413^{**}
S × E × D	اکوتیپ ×شوری × تراکم	2	0.0000005^{ns}	0.0004^{ns}	3.78^{*}	0.000065^{**}
Residual	خطا	18	0.000016	0.0075	0.88	0.0000098
C.V (%)	ضریب تغییرات		*29.8*	*14.8*	*11.4*	*21.6*
				Sarbishe	سربیشه	
Block	بلوک		0.004^{*}	0.89^{ns}	0.000011^{ns}	0.00000078^{ns}
Salinity (S)	شوری		0.002^{ns}	25.5^{**}	0.000010^{ns}	0.000048^{ns}
Residual	خطا		0.0004	0.769	0.000014	0.0000096
Ecotype (E)	اکوتیپ		0.0002^{ns}	4.35^{**}	0.00039^{*}	0.000049^{ns}
Density (D)	تراکم		0.009^{**}	1.49^{*}	0.000004^{ns}	0.000032^{ns}
S × E	اکوتیپ× شوری		0.001^{ns}	2.84^{**}	0.000228^{*}	0.000004^{ns}
S × D	تراکم × شوری		0.003^{*}	3.68^{**}	0.000668^{**}	0.000003^{ns}
E × D	تراکم × اکوتیپ		0.001^{ns}	1.33^{*}	0.000004^{ns}	0.00004^{ns}
S × E × D	اکوتیپ ×شوری × تراکم		0.001^{ns}	4.64^{**}	0.000339^{*}	0.0000004^{ns}
Residual	خطا		0.0006	0.19	0.000062	0.000015
C.V (%)	ضریب تغییرات		*15.8*	*19.5*	*39*	*18.6*

ns و * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می دهد.

ns, * and ** showed that non-significant, significant at the probability levels of 5 and 1 percentage.

کلسیم ریشه

اثرات متقابل شوری در اکوتیپ، شوری در تراکم، اکوتیپ در تراکم و شوری در اکوتیپ در تراکم بر کلسیم ریشه در بیرجند معنی‌دار بود (جدول ۵). در بیرجند با افزایش تراکم از ۱۰ به ۲۰ بوته در مترمربع در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کلسیم ریشه به‌طور معنی‌داری (۲۴ درصد) کاهش یافت (جدول ۴). در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کلسیم ریشه اکوتیپ وشمگیر در بیرجند به‌طور معنی‌داری (۳۸ درصد) بیشتر از اکوتیپ کرند بود (جدول ۷). در اکوتیپ کرند با افزایش تراکم از ۱۰ به ۲۰ بوته در مترمربع کلسیم ریشه به‌طور معنی‌داری

(۶۱ درصد) افزایش یافت ولی در اکوتیپ وشمگیر با افزایش همین میزان تراکم، کلسیم ریشه به‌طور معنی‌داری (۳۷ درصد) کاهش یافت (جدول ۶). به‌جز تیمار تراکم ۱۰ بوته در مترمربع در اکوتیپ وشمگیر در سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (که با افزایش شوری از ۷/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کلسیم ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت) در سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری در کلسیم ریشه با افزایش شوری در یک سطح تراکم و اکوتیپ مشاهده نشد (جدول ۸). الگوی متفاوت تجمع کلسیم در ریشه ارقام مختلف یک گونه گیاهی در مطالعات دیگر نیز مشاهده شده است به‌عنوان نمونه مشاهده گردید که با افزایش شوری از سطح صفر به ۵۰ میلی‌مولار در تیپ وحشی یونجه کلسیم ریشه افزایش و در رقم تراریخته کاهش یافت (Zhang and Wang, 2015).

منیزیم ریشه

اثرات اصلی شوری و تراکم و اثر متقابل شوری در تراکم بر منیزیم ریشه خارشتر در بیرجند معنی‌دار بود (جدول ۵). همچنین اثر اصلی اکوتیپ و اثرات متقابل شوری در اکوتیپ، شوری در تراکم و شوری در اکوتیپ در تراکم بر منیزیم ریشه در سربیشه معنی‌دار بود (جدول ۵). در بیرجند تنها در سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با افزایش تراکم منیزیم ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴).

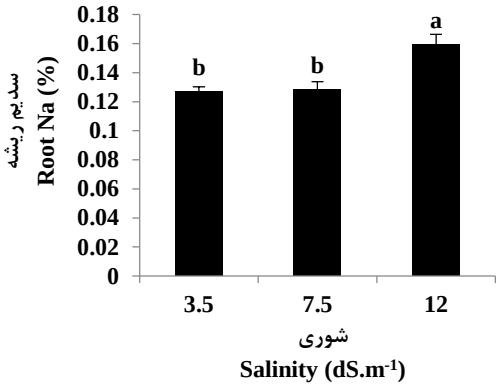
در سربیشه در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع با افزایش شوری از ۷/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر منیزیم ریشه به‌طور معنی-داری (۹۲ درصد) افزایش یافت ولی در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع با افزایش شوری از ۷/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر همانند منطقه بیرجند منیزیم ریشه به‌طور معنی-داری (۵۷ درصد) کاهش یافت (جدول ۴). اکوتیپ وشمگیر در سطح شوری ۳/۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۷۸ و ۸۷ درصد منیزیم ریشه بیشتری نسبت به اکوتیپ کرند داشت ولی این اختلاف در ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار نبود (جدول ۷).

در سربیشه در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع اکوتیپ کرند با افزایش شوری از ۳/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر منیزیم ریشه به‌طور معنی‌داری (۶۴۵ درصد) افزایش یافت ولی در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع اکوتیپ وشمگیر افزایش شوری از ۷/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش معنی‌دار (۶۳ درصد) منیزیم ریشه شد (جدول ۸). برخلاف اندام هوایی گیاه که اغلب با افزایش شوری منیزیم آن افزایش می‌یابد، افزایش شوری در اغلب گیاهان سبب کاهش منیزیم ریشه می‌گردد (Ashrafi et al., 2018). گزارش شده که کاربرد نمک کلرید سدیم سبب کاهش محتوی منیزیم ریشه‌های زیتون گردید (Loupassaki et al., 2002). در پژوهش انجام‌شده روی سه رقم یونجه مشخص گردید که بین مقادیر منیزیم ریشه ارقام مختلف یونجه تحت تأثیر سطوح مختلف شوری اختلاف معنی‌داری وجود داشت و در سطوح مختلف شوری یونجه بمی بیشترین و یونجه رهنانی کمترین میزان منیزیم ریشه را به خود اختصاص دادند (Ashrafi et al., 2018).

سدیم ریشه

اثر اصلی شوری آب آبیاری بر سدیم ریشه در بیرجند معنی‌دار بود (جدول ۵). اثر اصلی بلوک و تراکم و اثر متقابل شوری در تراکم بر سدیم ریشه در سربیشه معنی‌دار بود (جدول ۵). در بیرجند با افزایش شوری از ۳/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر سدیم ریشه به‌طور معنی‌داری (۲۶ درصد) افزایش یافت ولی اختلاف بین سطوح ۳/۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار نبود (شکل ۳). افزایش شوری از ۳/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در هر دو تراکم اثر معنی‌داری بر سدیم ریشه خارشتر در سربیشه نداشت (جدول ۴). همچنین مشاهده گردید که میزان سدیم اندام هوایی (علوفه) گیاه در بیرجند ۸/۶ برابر و در سربیشه ۱۰/۷ برابر سدیم ریشه بود (بر اساس میانگین‌های استخراجی از جدول ۴ و شکل ۳). این اختلاف غلظت سدیم بین ریشه و اندام هوایی منجر به ایجاد شیب فشار اسمزی از ریشه به اندام هوایی می‌گردد که عاملی مهم در ایجاد تحمل به شوری در گیاه است که در گونه‌های آتریپلکس نیز مشاهده شده است (Nedjimi, 2014). در پژوهش انجام‌شده روی خارشتر در اتاقک رشد مشخص شد که مقادیر سدیم اندام هوایی خارشتر تحت تأثیر سطوح شوری صفر، ۹/۱، ۱۶/۲ و ۲۸/۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۳/۷، ۶۹/۳، ۱۰۴/۵ و ۱۳۶/۵ میلی‌مولار و کلسیم آن به ترتیب ۱۵، ۴/۸، ۳/۲ و ۳/۳ میلی‌مولار بود که نشانگر افزایش سدیم و کاهش کلسیم اندام هوایی با اعمال شوری است (Kurban et al., 1998) اما نکته حائز اهمیت عدم کاهش معنی‌دار کلسیم باوجود افزایش شدید سدیم اندام هوایی خارشتر در سطوح بالای شوری است که با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نیز همخوانی دارد. در این راستا گزارش شده که بروز سمیت سدیم به غلظت‌های پایین کلسیم بستگی دارد (Marschner, 2012). علاوه بر این افزایش غلظت سدیم در اثر افزایش شوری با سطوح بالای

پتاسیم اندام هوایی همراه شده که بر تعدیل اثرات مضر سدیم بالا در گیاه مؤثر است در این زمینه گزارش شده که غلظت‌های بالای سدیم منجر به افزایش غلظت پتاسیم برگ شده که سبب بهبود مهار هدایت روزنه‌ای و اسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن در لوبیا گردید (Cabot et al., 2009). سدیم در سلول‌های برگ در مکانی دور از سیتوسل احتمالاً توسط آنتی پورت هیدروژن/سدیم در غشاهای واکوئل توزیع می‌گردد (Chen and Jiang, 2010). تأثیر افزایش شوری بر افزایش سدیم ریشه و ساقه در سه گونه آتریپلکس نیز مشاهده شده است (Nedjimi, 2014). رابطه منفی افزایش تراکم بوته با محتوی عناصر غذایی ساقه و برگ در ذرت نیز مشاهده شده است (Raymond et al., 2009).



شکل ۳. اثر شوری بر محتوی سدیم ریشه خارشتر در بیرجند.

Fig. 3. Effect of salinity on the camelthorn root Na content in Birjand.

جدول ۶. اثرمتقابل اکوتیپ و تراکم بر تجمع عناصر غذایی در اندام هوایی خارشتر.

Table 6. Interaction between ecotype and density on nutrient accumulation of camelthorn Shoot.

		بیرجند Birjand			سربیشه Sarbishe		
اکوتیپ Ecotype	تراکم Density	کلسیم ریشه Root Ca^{2+}	سدیم اندام هوایی Shoot Na^{+}	منیزیم اندام هوایی Shoot Mg^{2+}	پتاسیم اندام هوایی Shoot Na^{+}	سدیم اندام هوایی Shoot Na^{+}	پتاسیم ریشه Root K^{+}
	$Pl.m^{-2}$	---------- % ----------					
کرند	10	0.108^{b}	1.2^{b}	0.0182^{b}	8.43^{b}	1.767^{bc}	1.89^{b}
Krond	20	0.0175^{a}	1.172^{b}	0.0198^{b}	9.68^{a}	1.867^{b}	1.87^{b}
وشمگیر	10	0.0182^{a}	1.15^{b}	0.0296^{a}	9.89^{a}	1.471^{c}	2.97^{a}
Voshmgir	20	0.0113^{b}	1.817^{a}	0.0190^{b}	9.63^{a}	2.242^{a}	2.18^{b}
LSD		*0.0031*	*0.2081*	*0.0033*	*0.865*	*0.3145*	*0.43*

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability levels.

جدول ۷. اثرمتقابل شوری و اکوتیپ بر عناصر معدنی اندام هوایی و ریشه خارشتر.

Table 7. Interaction between salinity and ecotype on camelthorn Shoot and root minerals.

شوری Salinity	تراکم Density	سربیشه Sarbishe			بیرجند Birjand
		منیزیم اندام هوایی Shoot Mg^{2+}	منیزیم ریشه Root Mg^{2+}	پتاسیم ریشه Root K^{+}	کلسیم ریشه Root Ca^{2+}
$dS.m^{-1}$	$Pl.m^{-2}$	---------- % ----------			
3.5	Krond	0.018^{bc}	0.0136^{b}	3.683^{b}	0.014^{b}
	Voshmgir	0.034^{a}	0.0242^{a}	4.213^{a}	0.0136^{b}
7.5	Krond	0.032^{ab}	0.0144^{b}	1.05^{d}	0.0156^{ab}
	Voshmgir	0.026^{abc}	0.027^{a}	0.867^{d}	0.0126^{b}
12	Krond	0.022^{bcd}	0.0218^{ab}	0.917^{d}	0.013^{b}
	Voshmgir	0.014^{d}	0.0184^{ab}	2.658^{c}	0.018^{a}
LSD		*0.0094*	*0.0096*	*0.529*	*0.0038*

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability levels.

پتاسیم ریشه

در بیرجند تنها اثر اصلی تراکم و اثر متقابل شوری در اکوتیپ در تراکم بر پتاسیم ریشه خارشتر معنی‌دار بود (جدول ۵). در سربیشه کلیه اثرات اصلی (به‌جز اثر بلوک) و اثرات متقابل بر محتوی پتاسیم ریشه معنی‌دار بودند (جدول ۵). با افزایش شوری از ۳/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در سربیشه پتاسیم ریشه در اکوتیپ کرند ۷۵ درصد و در اکوتیپ وشمگیر ۳۷ درصد کاهش یافت که این اختلاف به لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۷). با افزایش شوری از ۳/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در سربیشه در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع ۴۱ درصد و در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع ۷۷ درصد پتاسیم ریشه کاهش یافت که این اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۴). در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع در سربیشه اکوتیپ وشمگیر به‌طور معنی‌داری (۵۷ درصد) پتاسیم بیشتری نسبت به اکوتیپ کرند داشت ولی اختلاف این دو در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع معنی‌دار نبود (جدول ۶). در اکوتیپ کرند در سربیشه در هر دو تراکم با افزایش شوری از ۳/۵ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر پتاسیم ریشه به‌طور معنی‌داری (در تراکم ۱۰ به میزان ۷۷ درصد و در تراکم ۲۰ به میزان ۷۳ درصد) کاهش یافت ولی در اکوتیپ وشمگیر تنها در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع با همین میزان افزایش شوری پتاسیم ریشه به‌طور معنی‌داری (۸۰ درصد) کاهش یافت و در تراکم ۱۰ بوته در مترمربع این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۸). در بیرجند در هیچ‌کدام از سطوح تراکم و اکوتیپ با افزایش شوری اختلاف معنی‌داری در پتاسیم ریشه مشاهده نشد (جدول ۸).

جدول ۸. اثرمتقابل شوری، اکوتیپ و تراکم بر غلظت عناصر معدنی اندام هوایی و ریشه خارشتر.

Table 8. Interaction between salinity, ecotype and density on camelthorn Shoot and root minerals.

			بیرجند Birjand		سربیشه Sarbishe		
			پتاسیم	کلسیم	سدیم		
شوری	اکوتیپ	تراکم	ریشه	ریشه	منیزیم ریشه	اندام هوایی	پتاسیم ریشه
Salinity	Ecotype	Density	Root K^+	Root Ca^{2+}	Root Mg^{2+}	Shoot Na^+	Root K^+
$dS.m^{-1}$		$Pl.m^{-2}$	---------- % ----------				
3.5	Krond	10	8^{abc}	0.0126^{cde}	0.0044^{e}	1.66^{de}	3.78^{bc}
		20	8.83^{ab}	0.0153^{bcd}	0.0228^{abcd}	1^{f}	3.58^{c}
	Voshmgir	10	9^{ab}	0.0146^{cde}	0.028^{abc}	1.30^{ef}	3.60^{bc}
		20	6.05^{d}	0.0126^{cde}	0.0204^{bcd}	1.59^{e}	4.81^{a}
7.5	Krond	10	8.83^{ab}	0.0106^{de}	0.0104^{de}	0.93^{f}	1.03^{d}
		20	7.76^{bc}	0.0206^{ab}	0.0184^{cd}	2.20^{bcd}	1.06^{d}
	Voshmgir	10	9.4^{a}	0.014^{cde}	0.018^{cde}	0.90^{f}	0.96^{d}
		20	8.87^{ab}	0.0113^{cde}	0.036^{a}	1.70^{cde}	0.76^{d}
12	Krond	10	8.85^{ab}	0.0093^{e}	0.0328^{ab}	2.70^{b}	0.86^{d}
		20	7.71^{bc}	0.0166^{bc}	0.0108^{de}	2.40^{b}	0.96^{d}
	Voshmgir	10	8.71^{ab}	0.026^{a}	0.0236^{abcd}	2.21^{bcd}	4.35^{ab}
		20	7^{cd}	0.01^{de}	0.0132^{de}	3.43^{a}	0.96^{d}
LSD			*1.60*	*0.0053*	*0.0135*	*0.54*	*0.74*

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

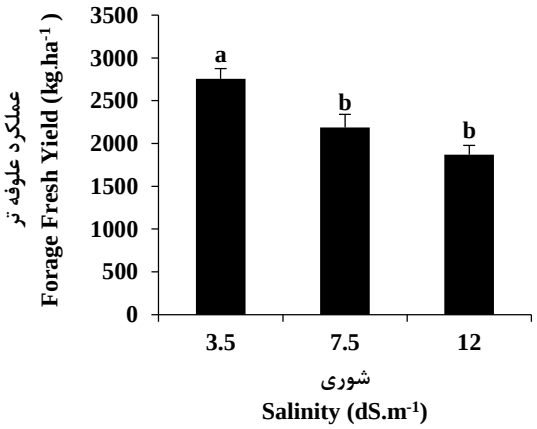
Means with similar letters are not significantly different at 5% probability levels.

مشاهده شد که با افزایش شوری غلظت پتاسیم ریشه سه گونه آتریپلکس (*Atriplex halimus*, A. *canescence*, A.*nummularis*) کاهش یافت (Nedjimi, 2014). از دلایل کاهش غلظت پتاسیم ریشه با افزایش شوری، کاهش بیان ژن‌های دخیل در انتقال پتاسیم (Zhu, 2003) و افزایش آسیب‌های القاشده توسط شوری بر غشاء پلاسمایی است که به پتاسیم امکان برگشت به محیط ریشه را می‌دهد (Shabala et al., 2005). همچنین مقادیر بالای سدیم در اندام‌های خارشتر با مقادیر پایین پتاسیم همراه شده که نشانگر رقابت سدیم با پتاسیم برای جذب است. کاهش جذب پتاسیم با افزایش غلظت نمک کلرید سدیم در محیط کشت بذر *Alhaji pseudoalhaji* نیز گزارش شده است (Kurban

et al., 1999). رابطه منفی بین افزایش تراکم با جذب پتاسیم در ذرت نیز گزارش شده است که دلیل آن رقیق شدن پتاسیم موجود در محیط ریشه به خاطر تولید بیوماس بیشتر در تراکم‌های بالا است (Raymond et al., 2009).

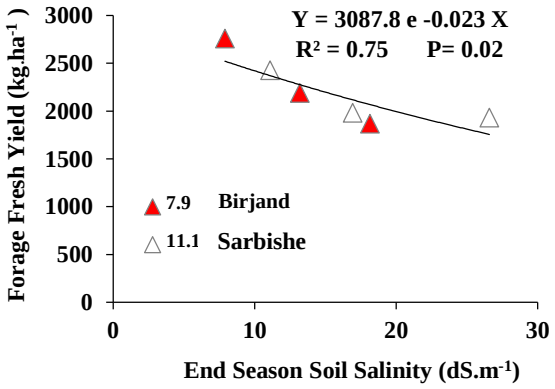
عملکرد علوفه‌تر

اثرات ساده اکوتیپ و تراکم و کلیه اثرات متقابل بر عملکرد علوفه در هیچ‌کدام از مکان‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۳). تنها اثر شوری بر عملکرد علوفه در بیرجند معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شوری آب آبیاری از ۳/۵ به ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد علوفه‌تر به‌طور معنی‌داری (از ۲۷۵۶ به ۲۱۸۹ کیلوگرم در هکتار) در بیرجند کاهش یافت ولی افزایش بیشتر شوری اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت (شکل ۴). نتایج تجزیه رگرسیون نمایی بین عملکرد علوفه‌تر و شوری خاک در انتهای دوره رشد در دو مکان روند کاهشی عملکرد علوفه‌تر با افزایش شوری را نشان داد (شکل ۵). هرچند با توجه به ماهیت خارشتر که گیاهی شورزی است شیب کاهش عملکرد علوفه‌تر به ازای هر دسی‌زیمنس افزایش شوری مقدار قابل‌توجهی (۴۴/۱۷ کیلوگرم به ازای هر دسی‌زیمنس بر متر) نبود به‌طوری‌که با افزایش ۱۳۹ درصدی شوری خاک در انتهای فصل در بیرجند نسبت به شاهد عملکرد علوفه‌تر ۳۲ درصد کاهش یافت و در سربیشه با افزایش ۱۳۹ درصدی شوری خاک در انتهای فصل نسبت به شاهد عملکرد علوفه‌تر ۲۰ درصد کاهش یافت که نشان‌گر تحمل بالای گیاه به شوری است. ضمن این‌که با توجه به نتایج آزمایش خاک (جدول ۲) در پایان دوره در تیمار آبیاری با ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر شوری خاک در بیرجند به ۱۸ و در سربیشه به ۲۶ دسی-زیمنس بر متر رسیده است که حد بالای شوری خاک در پایان دوره رشد را نشان می‌دهد. کاهش عملکرد بیوماس در اثر افزایش شوری از صفر به ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی مولار محلول نمکی کلرید سدیم به ترتیب به میزان ۲۵ و ۴۱ درصد در گیاه شورزی *Seidlitzia rosmarinus* نیز گزارش شده است (Najafi Zilaie et al., 2022). کاهش رشد و درنتیجه عملکرد هالوفیت‌ها در سطوح خیلی پایین‌تر از حد کشنده شوری برای آن‌ها (غلظت کلرید سدیم ۲ مولار در محیط ریشه) رخ می‌دهد (Flowers and Colmer, 2008) که از دلایل اصلی آن تنظیم اسمزی ناکافی، انحراف انرژی موردنیاز جهت تنظیم انتقال یون‌ها، تسهیم و سنتز مواد آلی سازگار، سمیت سدیم یا کلر برای متابولیسم در سیتوپلاسم و درنهایت آسیب ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن است (Flowers et al., 2015).



شکل ۴. اثر شوری بر عملکرد علوفه تر در بیرجند.

Fig. 4. Effect of salinity on the camelthorn forage fresh yield in Birjand.



شکل ۵. رابطه عملکرد علوفه‌تر خارشتر با شوری خاک در پایان دوره رشد.

Fig. 5. Relation between camelthorn forage fresh yield and end season Soil salinity.

نتیجه‌گیری نهایی

اگرچه افزایش شوری سبب کاهش عملکرد علوفه خارشتر گردید. بااین‌وجود این گیاه در شوری بالای خاک در انتهای فصل عملکرد قابل قبولی (۱۸۶۸ کیلوگرم در هکتار در بیرجند و ۱۹۳۱ کیلوگرم در هکتار در سربیشه) داشت؛ بنابراین می‌توان به تولید علوفه در اراضی بسیار شور از طریق کشت این گیاه اقدام نمود. مقادیر منیزیم اندام هوایی خارشتر کمتر از حد موردنیاز دام است و بایستی تغذیه تکمیلی جهت تأمین نیاز منیزیم و جلوگیری از بروز عوارض کمبود منیزیم در تغذیه درازمدت دام با علوفه خارشتر موردتوجه قرار گیرد.

پتاسیم اندام هوایی خارشتر بالاتر از حد بحرانی جهت تعلیف دام بوده و در صورت تغذیه بلندمدت بایستی به‌صورت ترکیبی با علوفه‌های دارای پتاسیم پایین به مصرف دام برسد. همچنین با توجه به پتاسیم بالاتر اندام هوایی اکوتیپ وشمگیر در سربیشه استفاده از اکوتیپ کرند به دلیل سطح پتاسیم پایین‌تر توصیه می‌گردد. سطح پتاسیم علوفه تولیدی در سربیشه کمتر از بیرجند بود (در سربیشه ۹ و بیرجند ۱۲ درصد) و علوفه تولیدی در سربیشه مطلوبیت بالاتری داشت. مقادیر سدیم و کلسیم اندام هوایی خارشتر در حد مطلوب برای دام بود و نیازی به تغذیه تکمیلی دام‌ها برای تأمین این عناصر نیست. هرچند افزایش شوری سبب افزایش سدیم اندام هوایی گردید ولی بر پتاسیم آن تأثیری نداشت (تنها پتاسیم ریشه در سربیشه با افزایش شوری کاهش نشان داد) بنابراین خارشتر در شرایط شوری می‌تواند سطح پتاسیم اندام هوایی خود را حفظ نموده و این ویژگی از عوامل مؤثر بر مقاومت گیاه در برابر شوری است. افزایش غلظت سدیم با کاهش غلظت پتاسیم ریشه همراه بود که نشانگر رقابت سدیم با پتاسیم برای جذب است. همچنین غلظت بالاتر سدیم اندام هوایی نسبت به ریشه می‌تواند به‌عنوان عاملی مؤثر در تحمل به شوری با افزایش شیب پتانسیل اسمزی از ریشه به اندام هوایی موردتوجه قرار گیرد.

قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری صمیمانه مجموعه کشت و صنعت پیوند خاوران به‌ویژه مدیرعامل وقت مهندس سینا سرحدی، مدیر تولید مهندس یاحقی و مسئول مزرعه حجت‌آباد مهندس عبداللهی و نیز کارشناسان آزمایشگاه‌های تغذیه دام و خاکشناسی خانم مهندس خیریه و خانم مهندس پارسا و مسئولین مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند که در اجرای این پژوهش ما را یاری نمودند، کمال تشکر را داشته باشند.

منابع

Aghaalikhani, M., Eshagh Ahmadi, M., Modarres Sanavy, A.M., 2008. Forage yield and quality of pearl millet (*Pennisetum americanum*) as influenced by plant density and nitrogen rate. Pajouhesh and Sazandegi. 77, 19-27. [In Persian]

Ali, S.I., 1977. Flora of West Pakistan No.100 Papilionaceae. University of Karachi, Pakistan, pp. 319-320.

Alldredge, M.W., PEEK, J.M., WALL, W.A., 2002. Nutritional quality of forages used by elk in northern Idaho. Journal of Range Management. 55, 253–259. https://doi.org/10.2307/4003131

Ashraf, M., 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora- Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 199, 361–376. https://doi.org/10.1078/0367-2530-00165

Ashrafi, E., Razmjoo, J., Zahedi, M., 2018. Effect of salt stress on growth and ion accumulation of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Plant Nutrition. 41, 1-14. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1426017

Baghdadi, A., Halim, A.R., Majidian, M., Daud, W.N.W., Ahmad, I., 2012. Plant density and tillage effects on forage corn quality. Journal of Food, Agriculture and Environment. 10, 366–370. https://doi.org/10.1234/4.2012.2988

Cabot, C., Sibole, J., Barceló, J., Poschenrieder, C., 2009. Abscisic acid decreases leaf Na+ exclusion in salt-treated *Phaseolus vulgaris* L. Plant Growth Regulation. 28, 187–192. https://doi.org/10.1007/s00344-009-9088-5

Chen, H., Jiang, J.G., 2010. Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. Environmental Review. 18, 309–319. https://doi.org/10.1139/A10-014

Cornacchione, M.V., Suarez, D.L., 2015. Emergence forage production and ion relations of alfalfa in response to saline water. Crop Science. 55, 444 – 457. https://doi.org/10.2135/cropsci2014.01.0062

Danayi Rad, E., 2016. Laboratory Methods In Agricultural Science And Biology. Tarjoman Kherad Publisher, Tehran, Iran, pp. 102-103. [In Persian]

Delfani, M., Akbari, M., Vafa, P., Malek Maleki, F., Masoumi, A., 2022. The effect of plant density and supplementary irrigation on nutritional value of two safflower (*Carthamus tincturius* L.) Forage crops. Communication in Soil Science and Analysis. 53, 1-24.

https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2046032

Flowers, T.J., Colmer, T.D., 2008. Salinity tolerance in halophytes. New Phytologist. 179, 945–963. https://www.jstor.org/stable/25150520

Flowers. T.J., Munns, R., Colmer, T.D., 2015. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. Annals of Botany. 115, 419-431. https://doi.org/10.1093/aob/mcu217

Goff, J.P., Horst, R.L., 1997. Effects of the addition of potassium or sodium, but not calcium to prepartum ratios on milk fever on dairy cows. Dairy Science. 80, 176–186. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)75925-3

Gross, C.F., Jung, G.A., 1978. Magnesium, Ca, and K concentration in temperate-origin forage species as affected by temperature and Mg fertilization. Agronomy. 70, 397–403. https://doi.org/10.2134/agronj1978.00021962007000030008x

Igartua, E., Gracia, M.P., lasa, J.M., 1995. Field responses of grain sorghum to a salinity gradient. Field Crops Research. 42, 15-25. https://doi.org/10.1016/0378-4290(95)00018-L

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

Jekabson, A., Anderson-Ozola, U., Karlsons, A., Romanovs, M.,Ievinsh, g., 2022. Effect of salinity on growth, ion accumulation and mineral nutrition of different accessions of a crop wild relative legume, species, *Trifolium fragiferum*. Plants. 11, 1-20. https://doi.org/10.3390/plants11060797

Kazemi, M., Ghasemi Bezdi, K. 2021. An investigation of the nutritional value of camelthorn (*Alhagi maurorum*) at three growth stage and it's substitution with part of the forage in Afshari ewes diet. Animal Feed Science and Technology. 271, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114762

Khorshidi, M.B., Yarnia, M., Hassanpanah, D., 2009. Salinity effect on nutrients accumulation in alfalfa shoots in hydroponic condition. Food, Agricultural and Environment. 7, 787–790. https://doi.org/10.1234/4.2009.2778

Kirkby, E., 2012. Introduction, definition and classification of nutrients. In: Marschner, P. (ed.), Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition). New York, Academic Press. USA. pp.3-5 https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00016-2

Klute, A., 1986. Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods, 2 eds. Soil Science Society of America, USA, pp. 906-909. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed

Kurban, H., Hirofumi, S., Kunito, N., Rahmutulla, A., Fujita, K. 1998. Effect of salinity on growth and accumulation of organic and inorganic solutes in the leguminous plants *Alhagi pseudalhagi* and *Vigna radiate*. Soil Science and Plant Nutrition. 44, 589-597. https://doi.org/10.1080/00380768.1998.10414482

Kurban, H., Saneoka, H., Nehira, K., Adilla, R., Premachandra, G.S., Fujita, K., 1999. Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant *Alhagi pseudalhagi*. Plant Nutrition and Soil Science. 45, 851–862. https://doi.org/10.1080/00380768.1999.10414334

Kumar, R., Singh, M., Meena, B.S., Kumar, S., Yadav, M.R., Parihar, C.M., Ram, H., Meena, R.K., Meena, V.K., Kumar, U., 2017. Quality characteristics and nutrient yield of fodder maize (*Zea mays*) as influenced by seeding density and nutrient levels in Indo-Gangetic Plains. Indian Journal of Agricultural Sciences. 87, 1203–1208. https://doi.org/10.56093/ijas.v87i9.74205

Loupassaki, M.H., Chartzoulakis, K.S., Digalaki, N.B., Androulakis, I.I., 2002. Effects of salt stress on concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and sodium in leaves, shoots and roots of six olive cultivars. Plant Nutrition. 25, 2457–2482. https://doi.org/10.1081/PLN-120014707

Marschner, P., 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3eds. Academic Press. New York, UAS, pp. 3-460. https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9

Masters, D., Tiong, M., Vercoe, P., Norman, H., 2010. The nutritive value of river saltbush (*Atriplex amnicola*) when grown in different concentrations of sodium chloride irrigation

solution. Small Ruminant Research. 91, 56-62. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.10.019

Moor, K.J., Collins, M., Nelson, C.J., Redfearn, D.D., 2020. Forages: The Science of Grassland Agriculture, Vol. 2 (7th eds.). Wiley, Croydon, UK, pp. 79-819.

Muhammad, G., Muhammad, A.H., Farooq, A., Muhammas, A., Anwar-Hassan, G., 2014. Alhagi: A plant genus rich in bioactive for pharmaceoticals. Phytotherapy Research. 29, 1-13. https://doi.org/10.1002/ptr.5222

Naseri, H., Lashkari Snami, N., Sadeghi Sangdehi, S. A., 2019. Forage quality variation in camelthorn grazing species in Maranjab region. Pasture and Watershed. 71, 1099-1109. [In Persion]. https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.264225.1292

National Research Council (NRC), 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. (7th ed.). Washington, D, National Academy Press.

National Academies of Sciences, Engineering and Medicine (NASEM), 2016. Nutrient Requirements of Beef Cattle 8th rev. ed. Washington, DC: National Academy Press. US. https://doi.org/10.17226/19014.

Nedjimi, B., 2014. Effects of salinity on growth, membrane permeability and root hydraulic conductivity in three saltbush species. Biochemical Systematics and Ecology. 52, 4–13. https://doi.org/10.1016/j.bse.2013.10.007

Olanite, J.A., Anele, U.Y., Arigbede, O.M., Jolaosho, A.O., Onifade, O.S., 2010. Effect of plant spacing and nitrogen fertilizer levels on the growth, dry-matter yield and nutritive quality of Columbus grass (*Sorghum almum* stapf.) in southwest Nigeria. Grass and Forage Science. 65, 369-375. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00755.x

Owen, C.P., 1992. Plant Analysis Reference Producers for the Southern Region of the United States. The University of Georgia, USA, pp. 33-45.

Piri, A., Palangi, A., Eivazi, P., 2012. The determination of nutritive value of Alhagi by in situ and gas production techniques. European Journal of Experimental Biology. 2, 846–849.

Raymond, F.D., Alley, M.M., Parish, D.J., Thomason, W.E., 2009. Plant density and hybrid impacts on corn grain and forage yield and nutrition uptake. Plant Nutrition. 32, 395-409. https://doi.org/10.1080/01904160802660727

Robbins, C.T., 1993. Wild Life Feeding and Nutrition. 2nd edition, Academic Press, San diego, California, USA, 352p.

Saroya, A.S., 2013. Controversial Herbal Drugs of Ayurveda. Scientific Publishers, India, 279p.

Seiter, S., Altemose, C.E., Davis, H., 2004. Forage soybean yield and quality responses to plant density and row distance. Agronomy. 96, 966-970. https://doi.org/10.2134/agronj2004.0966

Shabala, L., Cuin, T.A., Newman, I.A., Shabala, S., 2005. Salinity-induced ion flux patterns from the excised roots of Arabidopsis SOS mutants. Planta. 222, 1041–1050. https://doi.org/10.1007/s00425-005-0074-2

Shanon, M.C.,1985. Principle and strategies in breeding for higher salt tolerance. Plant and Soil. 89, 227-241. https://doi.org/10.1007/BF02182244

Sher, A., Khan, A., Ashraf, U., Liu, H. H., Li. J. C., 2018. Characterization of the effect of increased plant density on canopy morphology and stalk lodging risk. Frontiers in Plant Science. 9, 10-47. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01047

Towhidi, A., Zhandi, M., 2007. Chemical composition, in vitro digestibility and palatability of nine plant species for dromedary camels in the province of Semnan, Iran. Egyptian Journal of Biology. 9, 47–52.

Ul Haq, T., Akhtar, J., Steele, K.A., Munns, R., Gorham, J., 2013. Reliability of ion accumulation and growth components for selecting salt tolerant lines in large populations of rice. Functional Plant Biology. 41, 379–390. https://doi.org/10.1071/FP13158

Waldron, B.L., Sagers, J.K., Peel, M.D., Rigby, C.W., Bugbee, B., Creech, J.E., 2020. Salinity reduces the forage quality of forage kochia: A halophytic chenopodiaceae shrub. Rangeland Ecology and Management. 73, 384-393. https://doi.org/10.1016/j.rama.2019.12.005

Zang, F., Zhang, B., Lu, Y., Li, C., Liu, B., An, G., Gao, X., 2016. Morpho-physiological response of *Alhagi sparsifolia* Shap. (Leguminosae) seedlings to progressive drought stress. Pakestan Journal of Botany. 48, 429-438.

Zhang, W.J., Wang, T., 2015. Enhanced salt tolerance of alfalfa (*Medicago sativa*) by rstB gene transformation. Plant Science. 234, 110-118. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.11.016

Zhu, J.K., 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Current Opinion in Plant Biology. 6, 441–445. https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00085-2

Zou, G.A., Mansur, S., Hu, S.C., Aisa, H.A., Shakhidoyatov, K.M., 2012. Pyrrole alkaloids from Alhagi sparsifolia. Chemistery Natural Products. 48, 635–637. https://doi.org/10.1007/s10600-012-0330-1