



The effect of irrigation water salinity on biomass and some morpho-physiological characteristics of two-year-old seedlings Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L)

Atefe Farjadi¹ | Maasoumeh Movaghari^{2✉} | Mitra cheraghi³

1. Department of Nature Reclamation Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan,

Khuzestan, Iran. E-mail: farjadi1374atefe@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Nature Reclamation Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: movaghari@asnrukh.ac.ir

3. Department of Nature Reclamation Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: Cheraghi.mitra@asnrukh.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Oct. 14, 2025

Revised: Nov. 19, 2025

Accepted: Jan. 4, 2026

Published online: Feb. 2026

Keywords:

Khuzestan,

Range Improvement,

Halophytes

ABSTRACT

Soil salinity stress is a major environmental challenge in arid and semi-arid regions. Cultivating salt-tolerant plants is a sustainable approach for livestock feed production and soil conservation. This study aimed to investigate the effects of irrigation water salinity on biomass production and morpho-physiological traits of two-year-old vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) seedlings. The experiment included six levels of water salinity (city water (as the control), 4, 8, 16, 32, and 64 dS/m), arranged in a completely randomized block design with four replications over ten months. Results showed that from the seventh month onward, plant height, fresh and dry weight of underground organs, leaf relative water content, and proline concentration were significantly affected by salinity, whereas crown diameter, fresh and dry weight of aerial parts and leaves, aboveground biomass, and photosynthetic pigments were not significantly affected. The lowest plant height occurred at 64 dS/m, while the highest was observed at 32 dS/m, representing a 57% increase compared to the control. Fresh and dry weight of roots and leaf relative water content exhibited significant changes at higher salinity levels. Furthermore, contrary to expectations, proline content decreased at 4 dS/m. A transfer factor (TF) below 1 indicates that vetiver grass acts as a salt-excluding plant. Overall, vetiver grass demonstrated high tolerance to salinity; even at 64 dS/m, aerial biomass and crown development were not significantly affected. These findings support the use of this species for forage production and soil protection in saline rangeland restoration projects.

Cite this article: Farjadi, A., Movaghari, M., Cheraghi, M. (2026) The effect of irrigation water salinity on biomass and some morpho-physiological characteristics of two-year-old seedlings Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (12), 3375-3391. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.404286.670028>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.404286.670028>





EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Soil salinity is a critical challenge in arid and semi-arid regions, as high evaporation and low rainfall promote salt accumulation, consequently reducing plant growth and yield. Salinity stress limits water uptake, causes ionic imbalance, and disrupts physiological functions, ultimately constraining crop productivity. *Chrysopogon zizanioides* (vetiver grass) is a tropical grass widely recognized for its tolerance to harsh conditions. It grows rapidly, produces deep roots reaching up to 4 m, and adapts to various soils. Reaching heights of 50–150 cm, vetiver stabilizes soil, prevents erosion, and thrives even on steep slopes. Its ability to absorb nutrients, heavy metals, and pollutants also makes it efficient for wastewater and leachate treatment. In addition to ecological functions, young leaves provide moderate nutritional value as forage in stress-prone regions. Reported salinity tolerance thresholds for vetiver vary widely, influenced by genotype, soil type, and methodology. Further studies are therefore essential to define its tolerance range and enhance applications in saline environments.

Method

This study was conducted in 2022 using two-year-old vetiver seedlings grown in 6.5 kg-capacity pots at the nursery of Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, which is located in a dry climate. Six salinity levels (city water (as control), 4, 8, 16, 32, and 64 dS m⁻¹) were applied with four replications. To avoid osmotic shock, salinity treatments were gradually increased, and irrigation was managed using the gravimetric method with a leaching fraction to prevent excessive salt accumulation. The experiment lasted for 10 months. Growth traits, including plant height and crown diameter, were measured monthly. At the end of the experiment, fresh and dry weights of shoots (aerial parts) and roots were recorded, and total biomass was calculated. Photosynthetic pigments (chlorophylls and carotenoids), relative water content (RWC), and leaf proline concentration were also determined. To evaluate the plant's phytoremediation potential, salt concentrations in soil, roots, and shoots were analyzed, and transfer factor (TF), bioconcentration factor (BCF), and biological accumulation coefficient (BAC) were calculated. Data were analyzed using a One-Way Analysis of Variance (ANOVA) based on a completely randomized design (CRD). Mean comparisons were then conducted using the LSD test in SPSS software.

Results

Monthly measurements of vetiver plant height showed no significant differences among salinity treatments during the initial six months. From the seventh month onward, only the 32 dS/m treatment showed a significant increase in height compared to the control. Crown diameter remained unaffected by salinity throughout the experiment. Fresh and dry weights of aerial biomass and leaves were not significantly affected; however, minor increases were observed up to 32 dS/m, followed by a decline at 64 dS/m. In contrast, root biomass was significantly reduced at higher salinity levels, particularly from 32 dS/m onward. Total biomass showed no significant changes across treatments. Photosynthetic pigments, including chlorophyll a, b, total chlorophyll, and carotenoids, were stable under all salinity levels. Leaf relative water content increased significantly only at 64 dS/m, while proline content decreased under all saline treatments. Salt accumulation analysis indicated higher salt concentrations in roots than shoots. Translocation factor (TF) values were below one, reflecting limited upward salt movement. Biological accumulation and concentration factors were also below unity, confirming effective salt regulation in plant tissues. These findings indicate that vetiver tolerates moderate to high salinity by restricting salt translocation, maintaining photosynthetic activity, and preserving leaf water content. Despite reduced root biomass under extreme salinity, the species' adaptive responses, such as osmotic adjustment and selective ion compartmentalization, support its growth and highlight its suitability for saline soil reclamation and management.

Conclusions

The results showed that vetiver grass maintains its vegetative growth, biomass production, and photosynthetic pigments even at a high salinity level of 64 dS/m. Furthermore, it exhibits high salt tolerance by restricting salt translocation from roots to shoots. Collectively, these traits make vetiver an effective option for saline range restoration, forage production, and soil conservation.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

The raw data generated and analyzed during this study are available from the corresponding author,

Maasoumeh Movaghri, upon reasonable request and pending permission from the co-authors.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the support of Department of Nature Reclamation Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, which provided facilities and guidance essential for Atefeh Farjadi's master's research project.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد زیست توده و برخی خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی نهال دوساله گیاه وتیورگراس (*Chrysopogon zizanioides* L.)

عاطفه فرجادی^۱، معصومه موقری^۲✉، میترا چراغی^۳

۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، رایانامه: farjadi1374atefe@asnrukh.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، رایانامه: movaghari@asnrukh.ac.ir

۳. گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، رایانامه: Cheraghi.mitra@asnrukh.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۲۲	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۸/۲۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴	
تاریخ انتشار: اسفند ۱۴۰۴	
واژه‌های کلیدی: خوزستان، اصلاح مراتع، گیاهان شورپسند.	تنش شوری یکی از چالش‌های زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و تولید گیاهان شورزیست روشی پایدار برای تغذیه دام و حفاظت خاک محسوب می‌شود. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد زیست‌توده و ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی نهال دوساله وتیورگراس (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل شش سطح شوری آب (آب شهر (شاهد)، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ دسی‌زیمنس بر متر) در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با چهار تکرار به مدت ده ماه اجرا گردید. نتایج نشان داد که ارتفاع گیاه از ماه هفتم به بعد، وزن تر و خشک اندام زیرزمینی، رطوبت نسبی برگ و میزان پرولین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری قرار گرفت، در حالی که قطر تاج پوشش، وزن تر و خشک اندام هوایی و برگ، بیومس رویشی و رنگی‌های فتوسنتزی تحت تأثیر قرار نگرفتند. کمترین ارتفاع گیاه در شوری ۶۴ دسی‌زیمنس و بیشترین آن در شوری ۳۲ دسی‌زیمنس با ۵۷ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد. وزن اندام زیرزمینی و رطوبت برگ در شوری‌های بالاتر کاهش و افزایش معنی‌داری داشت، و بر خلاف انتظار، میزان پرولین در شوری ۴ دسی‌زیمنس کاهش یافت. ضریب انتقال (TF) کمتر از یک نشان‌دهنده ویژگی دافع نمک این گیاه است. به‌طور کلی، وتیورگراس تحمل بالایی نسبت به شوری دارد و حتی در شوری ۶۴ دسی‌زیمنس تولید زیست‌توده اندام هوایی و تاج پوشش تحت تأثیر قرار نگرفت، که استفاده از آن برای تولید علوفه و حفاظت خاک در مراتع شور را توجیه‌پذیر می‌سازد.
استناد: فرجادی؛ عاطفه، موقری؛ معصومه، چراغی؛ میترا، (۱۴۰۴) اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد زیست توده و برخی خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی نهال دوساله گیاه وتیورگراس (<i>Chrysopogon zizanioides</i> L.)، <i>مجله تحقیقات آب و خاک ایران</i>، ۵۶ (۱۲)، ۳۳۷۵-۳۳۹۱. ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.404286.670028 © نویسندگان.	



مقدمه

از مشخصات بارز مناطق خشک و نیمه خشک، بالا بودن میزان تبخیر و تعرق نسبت به بارش می‌باشد که با گذشت زمان منجر به شوری خاک و در نتیجه کاهش محصول و رشد و نمو گیاهان در این مناطق می‌شود (نوشادی و نوری پور، ۱۳۹۹). از سوی دیگر اراضی شور روز به روز در حال افزایش می‌باشند و بنابراین مطالعه نقش شوری در رشد و نمو گیاهان و بررسی امکان کشت در این شرایط از اهمیت به سزایی برخوردار است. تنش شوری باعث ایجاد تنش خشکی، عدم تعادل یونی و اثرات سمی ناشی از یون‌ها می‌شود. تنش شوری همچنین منجر به تغییر در وضعیت آبی گیاه می‌گردد و منجر به کاهش رشد اولیه و محدودیت تولید می‌شود. در خاک‌های شور، پتانسیل کم آب خاک همراه با اثرات سوء تعدادی از یون‌ها و عدم تعادل بین غلظت عناصر غذایی، عامل اصلی کاهش رشد گیاهان می‌باشد (Safdar et al., 2019).

گیاه وتیور^۱ با نام علمی (*Chrysopogon zizanioides* L) و از تیره Poaceae گیاهی است پر شاخ و برگ که ریشه‌هایی عمیق دارد و بومی هندوستان می‌باشد. وتیور یک گیاه گرمسیری است که به طور طبیعی در خیلی از مناطق جهان می‌روید و دامنه رویش این گیاه می‌تواند از ارتفاعات تا اراضی مسطح با انواع خاک‌ها در حالت‌های مختلف باشد که در آن‌ها از خود سازگاری نشان داده است (Sabetan Fadaie et al., 2009). این گیاه ارتفاعی معادل ۵۰ الی ۱۵۰ سانتی‌متر و ریشه‌ای به عمق ۳ الی ۴ متر دارد. دارای دامنه بردباری وسیع در برابر اسیدتیة خاک از ۳/۳ تا ۱۲/۵ می‌باشد، این گونه گیاهی، در جذب مواد مغذی محلول از قبیل نیتروژن، فسفر و فلزات سنگین در آب آلوده کارایی زیادی دارد و نسبت به خاک‌های شور، اسیدی، قلیایی، سدیک و خاک‌های دارای منیزیم بالا، بردبار بوده (نوشادی و ولی‌زاده، ۱۳۹۵) و پتانسیل بسیار زیادی در تصفیه فاضلاب خانگی و شیرابه‌های محل دفن زباله دارد (Nazari, 2013). وتیورگراس در خاک‌های فقیر دارای خاصیت فرسایش پذیری بالا، بسیار موثر است. رشد سریع وتیورگراس سبب شده که این گیاه نسبت به سایر گیاهان گزینه‌های مناسب در تثبیت دامنه باشد. این گیاه می‌تواند بر روی دامنه‌هایی با شیبی بیش از ۱۵۰ درصد (۵۶ درجه) نیز رشد کند (Nick Nehad et al., 2014). تاکنون مطالعات زیادی بر روی جنبه‌های مختلف این گیاه صورت گرفته که از جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد: بررسی خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه در شرایط تنش شوری و بررسی حد تحمل به شوری در گیاه (ملکی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ملکی و همکاران ۱۳۹۶؛ Akhzari et al., 2013؛ Liu et al., 2016)، تأثیر گیاه در کاهش شوری و املاح خاک (نوشادی و ولی‌زاده، ۱۳۹۵؛ نوشادی و نوری پور، ۱۳۹۹)، استفاده از گیاه در پالایش خاک‌های آلوده (محسن زاده و همکاران، ۱۴۰۲؛ احمدیان و همکاران، ۱۴۰۰؛ منصوریان و همکاران، ۱۳۹۷)، استفاده از گیاه در تصفیه فاضلاب و زه‌آب کشاورزی (عابدی کوپایی، ۱۳۹۹؛ نواییان و همکاران، ۱۳۹۶؛ جلالی پور و قائمی، ۱۳۹۲؛ Jayashree et al., 2011؛ کلهر و همکاران، ۱۳۹۷) و همچنین استفاده از گیاه در اصلاح و حفاظت از خاک (عسگری و همکاران، ۱۴۰۲؛ احمدی بنی و همکاران، ۱۳۹۴). این گیاه به طور گسترده در بیش از ۱۲۰ کشور جهان برای مدیریت زمین (به عنوان مثال احیای زمین‌های شور) استفاده می‌شود.

تا کنون، اطلاعات کمی در مورد استفاده از گیاه وتیور به عنوان خوراک برای نشخوارکنندگان گزارش شده است. با این حال این گیاه به دلیل مزایای مختلف آن مانند کیفیت بالا، سرعت رشد سریع و سازگاری آسان آن با محیط می‌تواند یک منبع خوراک قابل اعتماد و به ویژه در مرحله رشد جزء گیاهان با کیفیت بالا برای گاو و بز باشد (Liu et al., 2003). وتیورگراس شاید در حضور گیاهان با خوشخوراکی بالاتر کمتر مورد توجه دام قرار گیرد اما در شرق اندونزی، در شرایط بسیار خشک، وتیور توسط گاو و اسب چرا می‌شود. تحت مدیریت خوب، برگ‌های وتیور جوان دارای ارزش غذایی مشابه *Cenchrus purpureus* با سطح پروتئین خام حدود ۷ درصد هستند و در شرایط خوب حجم بالایی از برگ سبز را در دسترس دام قرار می‌دهد (Grimshaw et al., 1993).

پیشینه پژوهش

در مطالعات مختلف، تحمل به شوری برای این گیاه بسیار متغیر گزارش شده است. برای مثال قابلیت تحمل شوری گیاه را تا حد ۴۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر (Truong, and Gordon, 1992)، ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر (Pongvichian et al., 2005; Cuong et al., 2015)، ۲۰-۴ دسی‌زیمنس بر متر (Akhzari et al., 2013)، ۲۱ دسی‌زیمنس بر متر (Noraei et al., 2014)، ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط گلخانه‌ای (ملکی و همکاران، ۱۳۹۶) و حدود ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر (Liu et al., 2016) گزارش کرده‌اند. دامنه وسیع مقادیر



گزارش شده برای آستانه تحمل شوری و تیور (از ۱۰ تا ۴۷ دسی‌زیمنس بر متر) عمدتاً ناشی از تفاوت در روش‌شناسی، ژنوتیپ مورد مطالعه، معیارهای سنجش تحمل و شرایط محیطی است. به عنوان مثال تفاوت در محیط رشد و شرایط آزمایش مانند شرایط گلخانه در مقابل مزرعه که معمولاً در شرایط کنترل شده و داخل گلخانه نتایج تحمل بالاتری را نشان می‌دهد زیرا عوامل استرس‌زای دیگر (مانند خشکی، گرما، باد) حذف شده‌اند. همین‌طور نوع خاک یا بستر کشت (بافت خاک، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی) تأثیر زیادی در قابلیت دسترسی یون‌ها و اثر واقعی شوری بر گیاه دارد. ضمن اینکه میزان و دفعات آبیاری می‌تواند باعث شستشوی نسبی نمک از ناحیه ریشه شود یا برعکس، آن را متمرکز کند. استفاده از نمک‌های مختلف (مانند NaCl خالص در مقابل آب دریا یا نمک‌های ترکیبی) نیز نتایج متفاوتی ایجاد می‌کند. همچنین تفاوت در روش اعمال تنش شوری مثلاً آیا غلظت شوری به تدریج افزایش یافته یا یکباره اعمال شده است نیز می‌تواند مؤثر باشد؛ زیرا گیاهانی که به تدریج با شوری مواجه می‌شوند، فرصت بیشتری برای فعال کردن مکانیسم‌های تحمل (مانند تنظیم اسمزی و تجمع پرولین) دارند. ژنوتیپ یا اکوتیپ مورد مطالعه گیاه که باعث می‌شود گیاه از پتانسیل ژنتیکی متفاوتی در برابر تنش شوری برخوردار باشد. مدت زمان اعمال تنش عامل دیگری است که می‌تواند در نتایج گزارشات مؤثر باشد. یک مطالعه کوتاه‌مدت (مثلاً چند هفته) ممکن است تحمل بالاتری را نشان دهد، در حالی که در یک مطالعه بلندمدت، اثرات تجمعی شوری باعث کاهش آستانه تحمل می‌شود. نکته مهم دیگر اینکه تعبیر "تحمل" و معیار ارزیابی آستانه شوری بر اساس کدام پارامتر (بقاء گیاه، رشد رویشی گیاه یا عملکرد فیزیولوژیک گیاه) تعیین شده است. مطالعه ترونک و گردون (Truong and Gordon, 1992) که تحمل بسیار بالایی را گزارش کرده، احتمالاً معیار خود را بر اساس بقای گیاه قرار داده است، در حالی که مطالعه لیو و همکاران (Liu et al., 2016) که عدد پایین‌تری گزارش کرده، احتمالاً بر اساس کاهش معنی‌دار در رشد بیوماس بوده است.

چالش‌های متعددی از جمله فشار چرای بی‌رویه دام، تخریب پوشش گیاهی، تشدید فرسایش خاک و همچنین افزایش شوری خاک و آب در بسیاری از مناطق کشور به‌ویژه استان خوزستان، مدیریت پایدار مراتع و تولید علوفه را با مشکلات جدی مواجه کرده است. این شرایط، ضرورت شناسایی و معرفی گیاهان شورپسند سازگاری را که علاوه بر تولید علوفه‌ای باکیفیت، توانایی حفاظت از خاک را دارا باشند و به عنوان منبعی مکمل و قابل اعتماد در فصل خشک مورد استفاده قرار گیرند، بیش از پیش آشکار می‌سازد. معرفی چنین گیاهانی نه تنها از فشار بر اکوسیستم‌های طبیعی می‌کاهد، بلکه امکان پذیرش آن توسط جامعه محلی و دامداران را نیز فراهم می‌آورد. در این راستا، گیاه وتیور گراس به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد اکوفیزیولوژیکی، گزینه‌ای امیدبخش به شمار می‌رود. با وجود مطالعات اندکی که بر روی کیفیت علوفه این گیاه انجام شده اما مطالعات محدود انجام شده نشان می‌دهد که علوفه این گیاه برای تغذیه دام، به ویژه بز، مناسب است که این خود عاملی کلیدی در ترغیب ذی‌نفعان به کشت آن محسوب می‌شود. از سوی دیگر، استان خوزستان به دلیل مواجهه با پدیده‌های گرد و غبار و طوفان‌های شن، با معضلات محیط‌زیستی و سلامت عمومی روبرو است. سیستم ریشه‌ای عمیق، انبوه و فشرده وتیور گراس، آن را به یکی از مؤثرترین گیاهان برای کنترل فرسایش بادی و تثبیت خاک تبدیل کرده است. کشت این گیاه می‌تواند سهم بسزایی در کاهش گرد و غبار و بهبود وضعیت محیط‌زیست منطقه ایفا کند. با این وجود، اگرچه پتانسیل‌های این گیاه به صورت پراکنده مورد اشاره قرار گرفته، اما ارزیابی سیستماتیک پاسخ آن به سطوح مختلف شوری آب آبیاری در مرحله نهالستان که نقشی تعیین‌کننده در استقرار موفق و توسعه آتی آن دارد کمتر مورد توجه واقع شده است. بنابراین، انجام پژوهشی با هدف بررسی اثر شوری آب آبیاری بر خصوصیات تولید علوفه، رشد تاج پوشش و سایر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک در این مرحله حساس، کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. دستاوردهای چنین تحقیقی می‌تواند مبانی علمی لازم برای برنامه‌ریزی و اجرای کشت گسترده این گیاه در مناطق مختلف استان خوزستان با شرایط متنوع خاک و شوری آب را برای تحقق اهدافی همچون احیای مراتع تخریب‌شده، تأمین امنیت علوفه و مقابله با بحران‌های محیط‌زیستی فراهم آورد.

روش‌شناسی پژوهش

در خرداد ماه سال ۱۴۰۱ نهال‌های دو ساله گیاه وتیورگراس تولید شده در نهالستان شهرستان رامهرمز در گلدان‌هایی حدوداً ۶/۵ کیلوگرمی (ارتفاع و قطر ۲۱ سانتیمتر) به نهالستان واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در شهرستان باوی با میانگین بارندگی سالانه ۱۷۴/۷ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۲۵/۸ درجه سانتی‌گراد و بر اساس طبقه‌بندی دمارتن با اقلیم خشک (گروه تحقیقات هواشناسی کاربردی خوزستان) منتقل گردیدند. پس از انتقال نهال‌ها به مدت ده روز با آب شهر همانند آبیاری رایج در نهالستان محل تولید آبیاری گردیدند. خاک داخل گلدان‌ها از خاک نهالستان محل تولید (ترکیب دو قسمت خاک زراعی، یک قسمت ماسه و یک قسمت کود

حیوانی) تشکیل شده بود. تیمارهای شوری، برای شش سطح مختلف شوری با هدایت الکتریکی (آب شهر (شاهد)، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ دسی زیمنس بر متر و در چهار تکرار تهیه گردید (Kachout et al., 2009). برای جلوگیری از شوک ناگهانی ناشی از شوری آب آبیاری، تیمارهای شوری به مدت ده روز با نصف مقادیر بالا اعمال گردید. آبیاری به مدت ۱۰ ماه از تیرماه ۱۴۰۱ تا فروردین ۱۴۰۲ ادامه داشت. حجم و دور آبیاری در این پژوهش بر اساس روش وزنی و با هدف حفظ رطوبت خاک در محدوده ظرفیت زراعی تعیین شد. ضمن اینکه با توجه به مدت زمان طولانی آزمایش (۱۰ ماه) و به منظور جلوگیری از تجمع بیش از حد نمک در خاک و ایجاد شرایط غیرقابل تحمل برای گیاهان، بخشی از آب آبیاری (معادل ۱۰ درصد حجم آب آبیاری) به عنوان جزء آبشویی در نظر گرفته شد (Halcomb et al., 2009). در طول ده ماه اعمال تنش و پس از آن اندازه‌گیری‌های خصوصیات گیاه به شکل زیر صورت پذیرفت.

اندازه‌گیری خصوصیات دوره‌ای گیاه

قبل از اعمال تنش‌ها، اندازه‌گیری اولیه از ارتفاع (طول اندام گیاهی) و قطر تاج پوشش گیاه در تمامی گلدان‌ها و سپس به صورت ماهانه ثبت گردید. برای اندازه‌گیری قطر تاج پوشش گیاه از روش اندازه تصویر عمودی سطح تاج بر روی زمین (ارزانی و عابدی، ۱۳۹۴) و برای اندازه‌گیری ارتفاع، پایین‌ترین حد رشد سال جاری در تاج پوشش گیاه تا حد بالایی آن در نظر گرفته شد (Mohammadi Golrang et al., 2008).

اندازه‌گیری‌های نهایی

پس از طی دوره ده ماهه اعمال تنش، برخی خصوصیات دیگر به شرح زیر اندازه‌گیری گردید.

وزن تر و خشک اندام هوایی و اندام زیرزمینی

کل قسمت هوایی گیاه از محل یک سانتی‌متری سطح خاک قطع و وزن اولیه (وزن تر) توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و وزن خشک (تولید زیست‌توده) آن‌ها نیز ثبت گردید. سپس گلدان‌ها تخریب شده و ریشه‌ها را نیز به مدت چندین ساعت خیسانده و شستشو داده و مانند اندام هوایی وزن تر و خشک آن محاسبه گردید.

بیوماس رویشی

بیوماس رویشی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$Bi = SDW + RDW$$

رابطه (۱)

که در این رابطه:

Bi: بیوماس رویشی در گیاه، SDW: وزن خشک اندام هوایی RDW: وزن خشک اندام زیرزمینی

رنگی‌های فتوسنتزی

برای تعیین میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ از روش لیچن تالر استفاده گردید. بدین منظور ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ به کمک نیتروژن مایع در داخل هاون چینی آسیاب شده و به آن ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد اضافه گردید. محلول حاصل با کاغذ صافی، صاف گردیده و مجدداً عصاره‌گیری انجام شد تا کاملاً بافت بی رنگ گردید. در نهایت حجم نهایی عصاره را به ۲۰ میلی‌لیتر رسانده و سپس جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر Perkin Elmer مدل UV-Visible خوانده شد و با استفاده از فرمول‌هایی که ارائه شده است محاسبه گردید (Lichtenthale et al., 1987).

رطوبت نسبی برگ

به منظور اندازه‌گیری میزان رطوبت نسبی برگ (RWC)^۱، ۰/۵ گرم از بافت اولین برگ توسعه یافته جدا شده و وزن اولیه برگ‌ها (وزن تر) با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ ثبت گردید و سپس نمونه‌ها در یک ظرف دربسته در آب مقطر شناور شده و پس از ۲۴ ساعت وزن آن‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد (وزن اشباع). در مرحله بعد، برگ‌ها به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و وزن آن‌ها پس از ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد (وزن خشک). درصد محتوی نسبی آب برگ بر اساس رابطه ۲ محاسبه شد (Qasim et al., 2003).

$$RWC = \frac{Fw - Dw}{Sw - Dw} \times 100$$

رابطه (۲)



وزن برگ تازه=Dw وزن برگ خشک شده=Sw وزن برگ آماس شده=FW

میزان پرولین

اندازه‌گیری میزان پرولین با استفاده از روش باتس^۱ انجام شد (Bates et al., 1973). بدین منظور ابتدا ۰/۵ گرم از هر نمونه گیاه را پس از خارج ساختن از فریزر به مدت ۲۴ ساعت توزین کرده و به آن‌ها ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد اضافه و در هاون چینی خوب سائیده شدند، سپس مخلوط حاصل در درون لوله آزمایش ریخته شده و ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. ۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده برداشته و در یک لوله آزمایش ریخته شد. سپس به هر لوله ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک اضافه گردید. لوله‌های آزمایش در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شدند و پس از یک ساعت لوله‌ها جهت خاتمه واکنش در داخل حمام یخ گذاشته شدند. پس از سرد شدن لوله‌ها، به آن‌ها ۴ میلی‌لیتر تولوئن افزوده و ۳۰ ثانیه هم زده شدند و پس از تشکیل دو فاز مجزا قسمت رنگی برداشته شد و توسط اسپکتروفتومتر میزان جذب آن‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید. آن‌گاه غلظت پرولین بر حسب میکرومول بر گرم ماده تر با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید:

$$5/115 \div \text{تولوئن مصرفی} \times \text{عدد خوانده شده توسط دستگاه}$$

رابطه (۳)

$$\text{پرولین} = \frac{\text{وزن نمونه (گرم)}}{\text{غلظت پرولین}}$$

۵ ÷ وزن نمونه (گرم)

شاخص‌های ضریب انتقال و ضریب تجمع بیولوژیکی

شوری خاک گلدان‌ها قبل از اعمال تنش‌های شوری، میان‌دوره و در انتهای دوره اعمال تنش با روش عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری گردید. پس از تعیین غلظت املاح به تفکیک در خاک، اندام هوایی و اندام زیرزمینی از شاخص‌های فاکتور انتقال^۲ (نسبت غلظت نمک در اندام هوایی گیاه به غلظت نمک در اندام زیرزمینی)، فاکتور تجمع بیولوژیکی^۳ (نسبت غلظت نمک در اندام زیرزمینی گیاه به غلظت نمک در خاک) و ضریب تجمع بیولوژیکی^۴ (نسبت غلظت نمک در اندام هوایی گیاه به غلظت نمک در خاک) (Chuck et al., 2019) برای ارزیابی کارایی این گیاه جهت پالایش خاک‌های شور استفاده شد.

$$TF = \frac{\text{غلظت فلز در اندام هوایی}}{\text{غلظت فلز در ریشه}}$$

رابطه (۴)

$$BCF = \frac{\text{غلظت فلز در ریشه}}{\text{غلظت فلز در خاک}}$$

رابطه (۵)

$$BAC = \frac{\text{غلظت فلز در اندام هوایی}}{\text{غلظت فلز در خاک}}$$

رابطه (۶)

جهت تعیین اثر سطوح مختلف شوری بر پارامترهای مورد مطالعه از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و جهت گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) با استفاده از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

نتایج تنش شوری آب آبیاری بر خصوصیات گیاه و تیور به تفکیک خصوصیات در این بخش ارائه می‌گردد.

اثر تنش شوری آب آبیاری بر ارتفاع گیاه در گونه گیاهی وتیور گراس

نتایج آنالیز ماهانه شاخص ارتفاع گیاه نشان داد که تا ماه ششم از اعمال تنش، اختلاف معنی‌داری در بین تیمارهای مورد مطالعه وجود نداشته اما از ماه هفتم به بعد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد مشاهده گردید (جدول ۱). اثر افزایش شوری آب آبیاری بر شاخص ارتفاع گیاه یک رابطه یکنواخت خطی نبود. افزایش سطح شوری از شاهد به شوری آب ۴ دسی زیمنس بر متر موجب افزایش ارتفاع گیاه و سپس

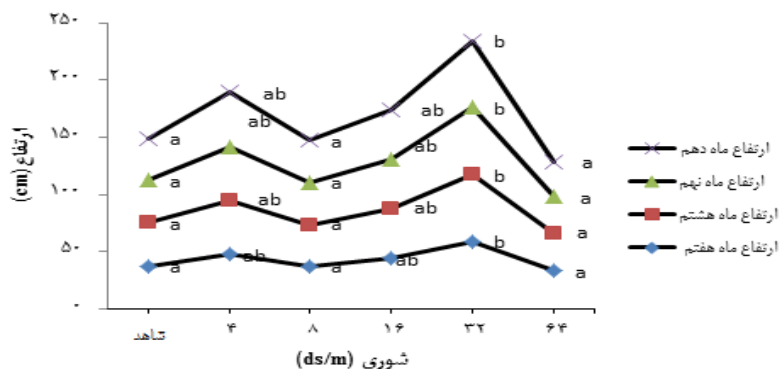
2 Bates et al., 1973

1 Translocation Factor

2 Bio Concentration Factor

3 Bio logical Accumulation Coefficient

در تیمار ۸ دسی زیمنس بر متر کاهش و از تیمار ۱۶ دسی زیمنس بر متر مجدد روند افزایشی آغاز و در تیمار ۳۲ دسی زیمنس بر متر به حداکثر ارتفاع گیاه در این دوره و مجدد در تیمار ۶۴ دسی زیمنس بر متر کاهش ارتفاع تا حد تیمار شاهد مشاهده گردید. البته لازم به ذکر است که با وجود همه این تغییرات فقط در تیمار ۳۲ دسی زیمنس بر متر اختلاف معنی‌دار با شاهد وجود داشته است (شکل ۱).



شکل ۱. تغییرات ارتفاع گیاه در سطوح مختلف شوری آب آبیاری در گیاه وتیور گراس

اثر تنش شوری آب آبیاری بر تاج پوشش گیاه در گونه گیاهی وتیورگراس
نتایج آنالیزهای ماهانه شاخص تاج پوشش گیاه نشان داد که اختلاف معنی‌داری در این شاخص در بین تیمارهای مورد مطالعه وجود نداشته است (جدول ۱).

اثر تنش شوری آب آبیاری بر وزن تر و خشک اندام هوایی و برگ در گونه گیاهی وتیورگراس
نتایج این تحقیق نشان داد که شوری آب آبیاری تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک اندام هوایی (تولید علوفه) و برگ نداشته است. البته افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و برگ تا تیمار شوری آب ۳۲ دسی زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد وجود داشته است اما در تیمار ۶۴ دسی زیمنس بر متر ناگهان کاهش اتفاق افتاده است اما هیچ کدام از این تغییرات از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است (جدول ۲).

جدول ۱. نتایج آزمون تجزیه واریانس و گروه‌بندی (LSD) میانگین خصوصیات مورفولوژیک در گیاه وتیور گراس

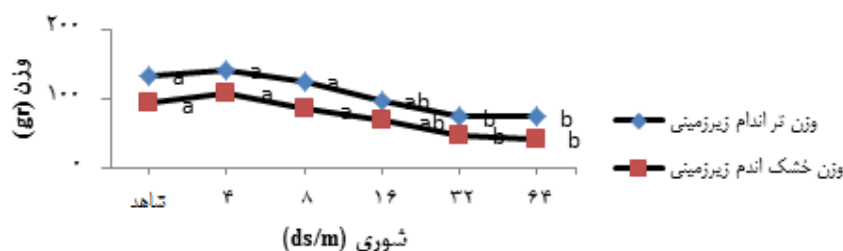
صفات مورد بررسی	مقدار F	میانگین صفت (سانتی‌متر) در سطوح مختلف شوری (دسی زیمنس بر متر)	۶۴	۳۲	۱۶	۸	۴	شاهد
ارتفاع ماه اول	۱/۹۴ ^{ns}	۴۶ ^a	۴۷/۷۵ ^a	۴۶/۷۵ ^a	۴۶/۷۵ ^a	۴۶/۷۵ ^a	۴۶/۷۵ ^a	۴۶ ^a
ارتفاع ماه دوم	۲/۳۹ ^{ns}	۴۳/۵ ^a	۴۷/۵ ^a	۵۰/۷۵ ^a	۵۸/۵ ^a	۴۵/۷۵ ^a	۴۳/۵ ^a	۴۳/۵ ^a
ارتفاع ماه سوم	۱/۰۴ ^{ns}	۴۴/۲۵ ^a	۴۶/۷۵ ^a	۴۵/۷۵ ^a	۴۵/۷۵ ^a	۴۵/۷۵ ^a	۴۴/۲۵ ^a	۴۴/۲۵ ^a
ارتفاع ماه چهارم	۱/۳۴ ^{ns}	۴۴/۲۵ ^a	۴۷/۵ ^a	۴۷/۵ ^a	۴۷/۵ ^a	۴۷/۵ ^a	۴۴/۲۵ ^a	۴۴ ^a
ارتفاع ماه پنجم	۱/۱۵ ^{ns}	۴۴ ^a	۵۱ ^a	۴۱/۲۵ ^a	۵۰ ^a	۵۵/۲۵ ^a	۴۱/۵ ^a	۴۱/۵ ^a
ارتفاع ماه ششم	۲/۶۱ ^{ns}	۳۷/۷۵ ^a	۴۸/۲۵ ^a	۳۸/۵ ^a	۴۱/۵ ^a	۵۹ ^a	۳۶/۵ ^a	۳۶/۵ ^a
ارتفاع ماه هفتم	۳/۱۳ [*]	۳۷/۵ ^a	۴۷/۷۵ ^{ab}	۳۷ ^a	۴۴ ^{ab}	۵۹ ^b	۳۳/۱۲۵ ^a	۳۳/۱۲۵ ^a
ارتفاع ماه هشتم	۳/۱۸ [*]	۳۷/۵ ^a	۴۷/۲۵ ^{ab}	۳۶/۷۵ ^a	۴۳/۵ ^{ab}	۵۸/۵ ^b	۳۲/۳۷ ^a	۳۲/۳۷ ^a
ارتفاع ماه نهم	۳/۲۱ [*]	۳۷/۲۵ ^a	۴۷/۲۵ ^{ab}	۳۶/۷۵ ^a	۴۳/۵ ^{ab}	۵۸/۵ ^b	۳۲/۳۷ ^a	۳۲/۳۷ ^a
ارتفاع ماه دهم	۳/۵ [*]	۳۷/۲۵ ^a	۴۷/۲۵ ^{ab}	۳۶/۷۵ ^a	۴۳/۵ ^{ab}	۵۸/۵ ^b	۳۰/۶۲ ^a	۳۰/۶۲ ^a
تاج پوشش ماه اول	۲/۰۵۱ ^{ns}	۱۹/۲۵ ^a	۲۷ ^a	۱۶/۷۵ ^a	۱۷/۲۵ ^a	۲۲ ^a	۱۷/۵ ^a	۱۷/۵ ^a
تاج پوشش ماه دوم	۲/۴۹ ^{ns}	۱۴/۷۵ ^a	۳۰/۲۵ ^a	۲۳/۷۵ ^a	۲۲/۲۵ ^a	۲۶ ^a	۲۳/۷۵ ^a	۲۳/۷۵ ^a
تاج پوشش ماه سوم	۰/۹۸۵ ^{ns}	۲۰/۲۵ ^a	۲۷/۵ ^a	۱۸/۲۵ ^a	۲۰/۷۵ ^a	۲۳/۲۵ ^a	۲۲ ^a	۲۲ ^a
تاج پوشش ماه چهارم	۰/۹۶۷ ^{ns}	۱۹/۲۵ ^a	۲۶/۷۵ ^a	۱۷/۷۵ ^a	۲۱/۲۵ ^a	۲۲/۷۵ ^a	۲۲ ^a	۲۲ ^a
تاج پوشش ماه پنجم	۲/۰۳۴ ^{ns}	۱۸/۵ ^a	۲۶ ^a	۱۷/۵ ^a	۱۷/۵ ^a	۲۲ ^a	۲۰ ^a	۲۰ ^a
تاج پوشش ماه ششم	۱/۵۲ ^{ns}	۱۴ ^a	۱۹/۷۵ ^a	۱۲/۷۵ ^a	۱۲/۷۵ ^a	۱۳/۵ ^a	۱۲/۲۵ ^a	۱۲/۲۵ ^a
تاج پوشش ماه هفتم	۱/۶۶ ^{ns}	۱۴ ^a	۱۹/۲۵ ^a	۱۲/۵ ^a	۱۲/۷۵ ^a	۱۳ ^a	۱۲ ^a	۱۲ ^a
تاج پوشش ماه هشتم	۱/۶۵ ^{ns}	۱۳/۷۵ ^a	۱۸/۷۵ ^a	۱۲/۵ ^a	۱۲/۵ ^a	۱۳ ^a	۱۱/۲۵ ^a	۱۱/۲۵ ^a
تاج پوشش ماه نهم	۱/۵۴ ^{ns}	۱۳/۷۵ ^a	۱۸/۲۵ ^a	۱۲/۲۵ ^a	۱۲ ^a	۱۳ ^a	۱۰/۷۵ ^a	۱۰/۷۵ ^a
تاج پوشش ماه دهم	۱/۴۸ ^{ns}	۱۳ ^a	۱۷/۷۵ ^a	۱۲/۲۵ ^a	۱۱/۵ ^a	۱۲/۷۵ ^a	۱۰/۵ ^a	۱۰/۵ ^a

ns: عدم معنی‌داری *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد



اثر تنش شوری آب آبیاری بر وزن تر و خشک اندام زیرزمینی در گیاه وتیور گراس

نتایج این تحقیق نشان داد که شوری آب آبیاری تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک اندام زیرزمینی در سطح ۵ درصد داشته است (جدول ۲). در تیمار شوری آب ۴ دسی زیمنس بر متر ابتدا روند افزایشی در وزن تر و خشک اندام زیرزمینی نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید که نشان می‌دهد این مقدار شوری آب تأثیری بر این شاخص نداشته است. از تیمار ۸ دسی زیمنس بر متر روند کاهشی آغاز شد که البته اختلاف آن معنی‌دار نبود؛ در حالی که از تیمار ۳۲ دسی زیمنس بر متر روند کاهشی و اختلاف معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید (شکل ۲).



شکل ۲. تغییرات وزن تر و خشک اندام زیرزمینی در سطوح مختلف شوری آب آبیاری در گیاه وتیور گراس

اثر تنش شوری آب آبیاری بر زیست توده رویشی در گونه گیاهی وتیور گراس

نتایج این تحقیق نشان داد که شوری آب آبیاری تأثیر معنی‌داری بر شاخص بیوماس رویشی گیاه وتیور نداشته است. البته همانند وزن تر و خشک اندام زیرزمینی در تیمار شوری آب ۴ دسی زیمنس بر متر ابتدا روند افزایش مقدار بیوماس رویشی گیاه نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید، در حالی که از تیمار شوری ۸ دسی زیمنس بر متر روند کاهشی در شاخص بیوماس رویشی گیاه ملاحظه گردید البته همان‌طور که گفته شد این روند کاهشی از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج آزمون تجزیه واریانس و گروه‌بندی (LSD) میانگین خصوصیات فیزیولوژیک در گیاه وتیور گراس

میانگین صفت در سطوح مختلف شوری (دسی زیمنس بر متر)						مقدار F	صفات مورد بررسی
۶۴	۳۲	۱۶	۸	۴	شاهد		
۲۶/۳ ^a	۵۶/۴۲ ^a	۴۵/۹۵ ^a	۳۳/۰۷۵ ^a	۱۵ ^a	۱۴/۶ ^a	۱/۸۶۷ ^{ns}	وزن تر اندام هوایی (gr)
۲۳/۶۵ ^a	۵۳/۷۲ ^a	۴۳/۰۲ ^a	۳۰/۴۳ ^a	۱۳/۱ ^a	۱۲/۴۲ ^a	۱/۸۵۸ ^{ns}	وزن خشک اندام هوایی (gr)
۳ ^a	۴/۴۱ ^a	۴/۰۳ ^a	۳/۴۱ ^a	۲/۸۲ ^a	۲/۰۶ ^a	۱/۸۹۲ ^{ns}	وزن تر برگ (gr)
۲/۶۶ ^a	۴/۲۳ ^a	۳/۷۶ ^a	۳/۲۱ ^a	۲/۵۹ ^a	۱/۸۹ ^a	۲/۲۰۶ ^{ns}	وزن خشک برگ (gr)
۷۴/۰۲ ^b	۷۳/۱۵ ^b	۹۷/۶۲ ^{ab}	۱۲۴/۵۷ ^a	۱۴۱/۷ ^a	۱۳۲/۷۵ ^a	۳/۸۹۲ [*]	وزن تر اندام زیرزمینی (gr)
۴۱/۴ ^b	۴۶/۵۷ ^b	۶۸/۴۵ ^{ab}	۸۴/۳ ^a	۱۰۸/۱۲ ^a	۹۲/۸ ^a	۳/۹۳۴ [*]	وزن خشک اندام زیرزمینی (gr)
۷۰/۲۳ ^a	۹۵/۱۳ ^a	۹۷/۴ ^a	۹۸/۸۷ ^a	۱۵۱/۱۵ ^a	۱۰۵/۲۲ ^a	۱/۵۰۶ ^{ns}	بیوماس رویشی گیاه (gr)
۴۷/۷۶ ^a	۷۱/۰۱ ^a	۴۷/۶۳ ^a	۲۴/۱۳ ^a	۶۴/۲۷ ^a	۴۷/۶۱ ^a	۰/۴۲۰ ^{ns}	کلروفیل a (mg/g)
۸۲/۷۹ ^a	۱۲۳/۱ ^a	۸۲/۵۵ ^a	۴۱/۸۱ ^a	۱۰۷ ^a	۸۲/۵۳ ^a	۰/۳۹۹ ^{ns}	کلروفیل b (mg/g)
۱۰۶/۴۴ ^a	۱۷۰/۸۷ ^a	۱۳۰/۱۸ ^a	۱۱۲/۸۳ ^a	۱۳۱/۱۳ ^a	۱۲۳/۳۵ ^a	۰/۲۷۵ ^{ns}	کلروفیل کل (mg/g)
۱۳/۶۹ ^a	۲۹ ^a	۱۳/۳۴ ^a	۱۲/۹۴ ^a	۱۹/۸۷ ^a	۲۵/۴۵ ^a	۰/۴۵۷ ^{ns}	کارتونوئید (mg/g)
۷/۹۸ ^b	۲/۶۲ ^a	۳/۱۸ ^a	۳/۴۹ ^a	۳/۵۷ ^a	۴/۰۱ ^a	۴/۶۹۷ ^{**}	رطوبت نسبی برگ (درصد)
۰/۱۱ ^b	۰/۰۳ ^b	۰/۰۴ ^b	۰/۰۸ ^b	۰/۱۳ ^b	۰/۶۳ ^a	۴/۳۳۴ ^{**}	پرولین (mg/g)

***: معنی‌دار در سطح ۱ درصد

**: معنی‌دار در سطح ۵ درصد

ns: عدم معنی‌داری

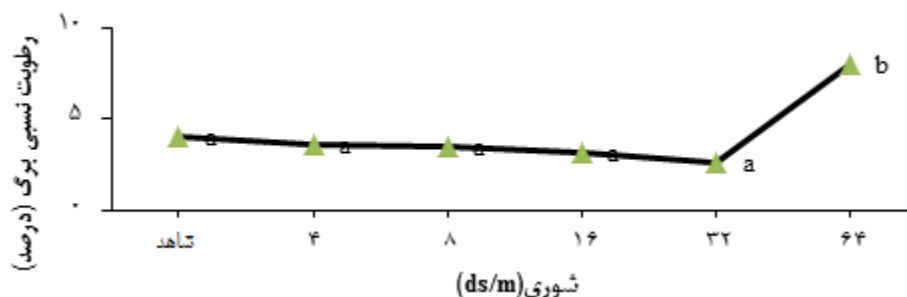
اثر تنش شوری آب آبیاری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی در گونه گیاهی وتیور گراس

نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش شوری آب آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل (a، b، کل) و کارتونوئید در گیاه وتیور نداشته است (جدول ۲).

اثر تنش شوری آب آبیاری بر میزان رطوبت نسبی برگ در گونه گیاهی وتیور گراس

در مورد تأثیر شوری آب آبیاری بر شاخص رطوبت نسبی برگ (RWC) نتایج نشان داد که شوری تأثیر معنی‌داری بر این شاخص در سطح

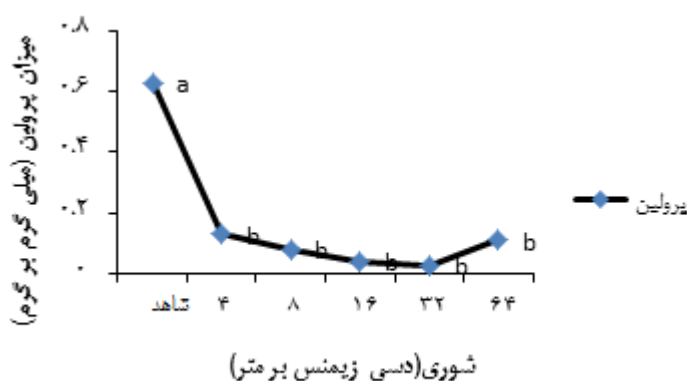
۱ درصد داشته است (جدول ۲). به طوری که با افزایش شوری آب از تیمار شاهد تا تیمار ۳۲ دسی زیمنس بر متر تغییرات معنی داری در میزان رطوبت نسبی برگ وجود نداشت؛ در حالی که در تیمار شوری آب ۶۴ دسی زیمنس بر متر ناگهان با افزایش معنی دار این شاخص مواجه شدیم (شکل ۳).



شکل ۳. تغییرات میزان رطوبت نسبی برگ در سطوح مختلف شوری آب آبیاری در گیاه وتیور گراس

اثر تنش شوری آب آبیاری بر میزان پرولین در گیاه وتیور گراس

نتایج این تحقیق نشان داد که شوری آب آبیاری تاثیر معنی داری بر میزان پرولین گیاه در سطح ۱ درصد داشته است (جدول ۲) و در تیمار شاهد بیشترین مقدار پرولین و تفاوت معنی دار با سطوح دیگر شوری آب مشاهده گردید (شکل ۴).



شکل ۴- تغییرات میزان پرولین در سطوح مختلف شوری آب آبیاری در گونه گیاهی وتیور گراس

ضریب انتقال و ضریب تجمع بیولوژیکی نمک در گیاه وتیور گراس

میانگین مقادیر BAC و BCF در تمام سطوح شوری نشان داد که غلظت نمک در اندام زیرزمینی و اندام هوایی گیاه کمتر از خاک است. از سوی دیگر میانگین ضریب انتقال (TF) (غلظت نمک در اندام هوایی به غلظت نمک در اندام زیرزمینی) در این گیاه کمتر از یک است (جدول ۳) که نشان می دهد غلظت نمک در اندام زیرزمینی گیاه بیشتر از اندام هوایی است (جدول ۳).

جدول ۳. میانگین مقادیر TF، BCF و BAC در سطوح مختلف شوری آب آبیاری

سطوح شوری	فاکتور انتقال (TF)	فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF)	ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC)
شاهد	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۴
۴	۰/۳۳	۱/۰۵	۰/۳۵
۸	۰/۴۲	۰/۸۸	۰/۳۷
۱۶	۰/۴	۰/۷۷	۰/۳۱
۳۲	۰/۳۷	۰/۵۵	۰/۲
۶۴	۰/۵۴	۰/۲۸	۰/۱۵



بحث

نتایج پژوهش حاضر در دوره ده ماهه اعمال تنش شوری آب آبیاری نشان داد که ارتفاع از ماه هفتم به بعد، وزن تر و خشک اندام زیرزمینی، رطوبت نسبی برگ و میزان پرولین در گیاه وتیور گراس به طور معنی داری تحت تأثیر تیمار شوری با آب آبیاری قرار گرفته است. این در حالی است که قطر تاج پوشش، وزن تر و خشک اندام هوایی و برگ، بیومس رویشی و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر تیمار شوری آب آبیاری قرار نگرفت.

بررسی شاخص ارتفاع گیاه نشان داد که تا ماه ششم از اعمال تنش اختلاف معنی داری در بین تیمارهای مورد مطالعه وجود نداشته ولی در ماه‌های هفتم تا دهم، تغییرات معنی دار در این شاخص مشاهده گردید و کمترین میزان ارتفاع گیاه در شوری آب ۶۴ دسی زیمنس بر متر و بیشترین میزان آن بر خلاف تصور در شوری آب ۳۲ دسی زیمنس بر متر با درصد ۵۷ افزایش نسبت به تیمار شاهد اتفاق افتاد. در مطالعه ملکی و همکاران (۱۳۹۳) در همین گیاه با توجه به اینکه دوره اعمال تنش سه هفته گزارش گردید تنش شوری تغییرات معنی داری در ارتفاع متوسط پایه‌های گیاهی در گلدان‌های مورد مطالعه ایجاد نکرده بود. مطالعات نشان داد طول متوسط ساقه گیاه وتیور گراس در سطح شوری ۵۰ میلی مولار (حدود ۵ دسی زیمنس بر متر) با ۲۴/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد همراه بود. در مورد وزن تر و خشک اندام هوایی و برگ نیز، با وجود اینکه تغییرات معنی دار نبود، بیشترین مقدار این صفات در شوری آب ۳۲ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد و سپس در شوری آب ۶۴ دسی زیمنس بر متر کاهش ناگهانی رخ داد. افزایش ارتفاع گیاه و وزن تر و خشک اندام هوایی و برگ در شوری آب ۳۲ دسی زیمنس بر متر می‌تواند ناشی از غلظت مناسب برخی نمک‌ها باشد که موجب تحریک رشد گیاه می‌شود. همانند ارتفاع گیاه، با افزایش شوری آب آبیاری و برای سازگاری با تنش، برگ‌ها ضخیم‌تر شده و وزن تر و خشک اندام هوایی افزایش می‌یابد. در واقع، تا شوری آب ۳۲ دسی زیمنس بر متر، گیاه وتیور با محدودیت مواجه نشده و غلظت نمک رشد گیاه را تحریک کرده است، در حالی که افزایش غلظت نمک در تیمار ۶۴ دسی زیمنس بر متر باعث مسمومیت و اختلال در گیاه شده و کاهش فتوسنتز و رشد را به همراه داشته است (Mane et al., 2011). در نتایج مطالعه ملکی و همکاران (۱۳۹۳) نیز افزایش معنی دار وزن تر ساقه وتیور گراس تا شوری ۴۴ دسی زیمنس بر متر با افزایش شوری در سطح درصد ۵۵ مشاهده شد. در مطالعه‌ای بر روی گیاهان هالوفیت تیره اسفناجیان مانند *Salicornia spp* و *Chenopodium album*، حداکثر رشد در شوری ۱۰ تا ۲۰ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد و نشان داده شد که میزان رشد گیاه در سطوح شوری کمتر و حتی در آب‌های غیر شور کاهش یافت (Amor et al., 2005). البته در مطالعه لطف الهی و همکاران (۱۳۹۴) در گیاه دارویی بابونه آلمانی این روند کاهشی بوده است.

نتایج تأثیر تنش شوری آب آبیاری بر وزن تر و خشک اندام زیرزمینی در گیاه نشان داد که در شوری آب ۴ دسی زیمنس بر متر ابتدا روند افزایش غیرمعنی داری در وزن تر و خشک اندام زیرزمینی نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید که نشان می‌دهد این مقدار شوری تأثیری بر این شاخص نداشته است. از تیمار ۸ دسی زیمنس بر متر روند کاهشی اما غیرمعنی دار آغاز و از تیمار ۳۲ دسی زیمنس بر متر روند کاهشی و اختلاف معنی دار نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید. در واقع ریشه به عنوان یک فیلتر کنترل عبور و آماده‌سازی یون‌های Na^+ و K^+ برای فعالیت گیاه است؛ بنابراین انرژی مصرفی ریشه تحت تنش شوری آب افزایش می‌یابد. این موضوع می‌تواند کارایی ریشه و جذب عناصر غذایی را کاهش دهد و منجر به کاهش تدریجی طول ریشه گردد (Movafegh et al., 2012). البته نتیجه این بخش از تحقیق در تناقض با تحقیق ملکی و همکاران (۱۳۹۶) بود زیرا در مطالعه آن‌ها با افزایش شوری تا میزان ۴۴ دسی زیمنس بر متر میزان وزن ریشه گیاه وتیور به طور معنی داری به صورت خطی افزایش یافته است. در تحقیق حاضر در مورد اندازه قطر تاج پوشش و بیومس رویشی هم روندی مشابه وزن تر و خشک اندام زیرزمینی وجود داشت و بیشترین مقدار این صفات در تیمار ۴ دسی زیمنس بر متر مشاهده گردید و سپس با افزایش شوری آب مقدار این صفت کاهش نشان داد که البته از نظر آماری این اختلاف‌ها معنی دار نبوده است.

همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد که افزایش شوری آب آبیاری تأثیر معنی داری بر میزان کلروفیل (a، b، کل) و کارتنوئید در گیاه وتیور نداشته است. این در حالی است که در مطالعه ملکی و همکاران (۱۳۹۳) هرچند در پارامترهای مورفولوژیکی تفاوت معنی دار در بین تیمارها مشاهده نشد، پارامترهای فیزیولوژیکی به شدت تحت تأثیر تیمار شوری قرار گرفتند و غلظت کاروتنوئید و هر دو کلروفیل a و b با افزایش شوری افزایش معنی دار داشته است. علت اختلاف نتایج در یک گیاه شاید به دلیل اختلاف در شدت و مدت زمان تنش باشد زیرا تنش شوری به هر حال از طریق اعمال اثرات منفی اسمزی و یونی، رنگیزه‌های فتوسنتزی را به عنوان یکی از عوامل محدودکننده میزان فتوسنتز خالص تحت تأثیر قرار می‌دهد (Chutipaijit et al., 2013). نتایج تحقیق حاضر در مورد شاخص

رطوبت نسبی برگ نشان داد تا شوری آب ۳۲ دسی زیمنس بر متر اختلاف معنی‌دار با شاهد وجود نداشت در حالی که در شوری آب ۶۴ دسی زیمنس بر متر حدوداً افزایش ۱۰۰ درصدی در این شاخص نسبت به تیمار شاهد اتفاق افتاد. در مطالعه ملکی و همکاران (۱۳۹۳) نیز تنش شوری تغییرات معنی‌داری در میزان محتوای رطوبت نسبی برگ ایجاد کرد به طوری که میزان آن در سطوح شوری کمتر از ۳۲ دسی زیمنس بر متر کاهش قابل توجهی داشته و با افزایش شوری در سطح ۴۰ دسی زیمنس بر متر افزایش نشان داد این در حالی است که در مطالعه‌ای، تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl در مقایسه با عدم استفاده از NaCl، به طور قابل توجهی باعث کاهش پتانسیل آب برگ، محتوای آب برگ، سرعت طول برگ، سرعت فتوسنتز برگ و سرعت رشد نسبی گیاه شد (Liu et al., 2016).

بر خلاف مطالعات بسیاری که افزایش مقدار پرولین در گیاه را با افزایش تنش شوری گزارش نموده‌اند (رستمی هیر و همکاران، ۱۴۰۳؛ جهانبازی و همکاران ۱۳۹۳؛ خمدی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Suleiman et al., 2023؛ Misr and Gupta, 2005) در تحقیق حاضر از تیمار شوری آب ۴ دسی زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری در مقدار پرولین نسبت به شاهد اتفاق افتاد. در مطالعه‌ای که توسط Messedi et al (2006) بر روی گیاه خرفه ساحلی انجام شد، گزارش گردید که در گیاهان با تغذیه مناسب نیتروژن، با افزایش تنش، غلظت پرولین برگ به طور منظم افزایش یافت، در حالی که در هفته‌های پایانی اعمال تنش، غلظت پرولین به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد. آن‌ها نشان دادند که انتقال گیاهان از محیط (N^-) به (N^+) به سرعت غلظت پرولین برگ را بازیابی کرد. در واقع آن‌ها معتقدند که در گیاهان با کمبود نیتروژن، افزایش تنش کاهش پرولین را به دنبال خواهد داشت و در صورتی که کمبود نیتروژن آن‌ها برطرف شود افزایش پرولین اتفاق خواهد افتاد. با توجه به اینکه میانگین ضریب انتقال (TF) در گیاه وتیور گراس کمتر از یک است می‌توان این گیاه را دسته گیاهان دافع نمک قرار داد به این دلیل که Alan et al (2000) معتقد بودند که ضریب انتقال در گیاهان انباشتگر بزرگتر از یک و در گیاهان دافع کمتر از یک است. بنابراین این گیاه برای پالایش نمک از خاک به عنوان گیاه دافع عمل می‌کند و تجمع نمک در اندام زیرزمینی نسبت به اندام هوایی آن بیشتر است (Alan et al., 2000). در مطالعه دیگری نیز به استفاده از گراس‌های چندساله ریشه‌دار، از جمله وتیور، در تناوب با محصولات یکساله در کشاورزی دیم توصیه شده تا بتواند به بازیابی تعادل بین مصرف آب و بارندگی کمک کرده و از بالا آمدن سطح آب نمک‌ها به سطح زمین جلوگیری کند (Munns and Tester, 2008). از سوی دیگر گیاهان را بر پایه مقدار ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC) به پنج گروه دسته‌بندی شده‌اند: جذب شدید (۱۰۰-۱۰)؛ جذب قوی (۱۰-۱)؛ جذب متوسط (۱-۰/۱)؛ جذب ضعیف (۰/۱-۰/۰۱) و جذب خیلی ضعیف (۰/۰۰۱-۰/۰۱) (Perel'ma et al., 1996). بر اساس این گروه‌بندی گیاه وتیور از نظر ضریب تجمع بیولوژیکی با داشتن ضریب بین ۱-۰/۱ در دسته گیاهان با جذب متوسط قرار می‌گیرد. مطالعات دیگری نیز گیاه وتیور را با داشتن سیستم ریشه گسترده، ضخیم و عمیق برای سازگاری با طیف وسیعی از تنش‌های محیطی، به عنوان مثال خشکسالی، سیل، دمای شدید، فلزات سنگین، اسیدیته و قلیائیت و شوری معرفی نموده‌اند (Ghotbizadeh and Sepaskhah, 2015; Truong et al., 2002; Zhou and Yu, 2009).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به روش‌شناسی این پژوهش و بر اساس معیار رشد رویشی گیاه، نتایج نشان داد که افزایش شوری آب آبیاری تا سطح ۶۴ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر معناداری بر ویژگی‌های تاج پوشش، وزن خشک اندام هوایی (تولید علوفه)، وزن خشک برگ، زیست‌توده رویشی و همچنین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی نداشته است. از سوی دیگر، محاسبه شاخص انتقال نمک در گیاه وتیور نشان داد که این گیاه با به‌کارگیری مکانیسم کاهش انتقال نمک از ریشه به اندام هوایی، در دسته گیاهان دافع نمک قرار گرفته و در نتیجه در برابر تنش شوری مقاومت می‌کند. بنابراین، استفاده از این گونه در پروژه‌های اصلاح مراتع شور جهت تولید علوفه و حفاظت از خاک توجیه‌پذیر است. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعه ملکی و همکاران (۱۳۹۳) همسو است که گزارش کردند واکنش‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه وتیور به تنش شوری، حاکی از تحمل بالای این گیاه به شوری و سازگاری فیزیولوژیک آن در سطوح شوری بالاتر از ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر است. آنان این گونه را گزینه‌ای مناسب برای احیای مراتع شور و تخریب‌یافته معرفی کردند. همچنین پژوهشی دیگر توسط ملکی و همکاران (۱۳۹۶) حاکی از سازگاری سریع و اولیه گیاه وتیور تا سطح شوری ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط گلخانه‌ای بود و آن را به عنوان گونه‌ای مقاوم برای پروژه‌های اصلاحی در این سطح شوری پیشنهاد نمودند. این نتایج با مطالعات سایر پژوهشگران از جمله داتا و همکاران (۲۰۱۱) و دانجی و تینگ سانچلی (۲۰۱۲) نیز هم‌راستا است که گیاه وتیور را برای احیای زمین‌های شور توصیه کرده‌اند. همچنین کانک و همکاران (۲۰۱۵) دلیل تحمل بالای این گیاه به شوری را داشتن سیستم ریشه‌ای عمیق دانسته‌اند که توانایی دسترسی



به لایه‌های خاک با شوری کمتر و مواد مغذی بیشتر را فراهم می‌کند.

برای رفع ابهامات ناشی از دامنه وسیع مقادیر گزارش شده برای آستانه تحمل به شوری گیاه وتیور گراس، انجام مطالعات آینده در شرایط آزمایشگاهی با کنترل دقیق تر و بر اساس معیارهای مشخصی مانند بقا، رشد رویشی یا عملکرد فیزیولوژیک پیشنهاد می‌شود. همچنین به جای ارائه یک عدد قطعی، گزارش یک «محدوده تحمل» به همراه ذکر دقیق شرایط آزمایش و معیار سنجش، نتیجه را علمی تر و کاربردی تر خواهد کرد. در این مطالعه از محیط خاک کشت برای شبیه سازی شرایط طبیعی استفاده شد؛ اما از آنجا که محیط کشت هیدروپونیک امکان کنترل دقیق تر تیمارهای شوری را فراهم می‌آورد، انجام تحقیقات تکمیلی در این محیط برای تعیین دقیق تر پاسخ های گیاه و آستانه های تحمل آن توصیه می‌شود. در نهایت، بررسی های بیشتر در شرایط میدانی نیز برای تأیید نهایی پتانسیل این گونه در تولید علوفه و حفاظت از خاک در پروژه های اصلاح مراتع با شرایط متنوع خاک و شوری آب ضروری است.

منابع

- احمدیان، مهدی، گلچین، احمد، علمداری، پریسا و اسدیان، قاسم. (۱۴۰۰). بررسی اثر دو کلات زیست تخریب پذیر بر کارائی گیاه پالایی وتیور گراس در خاک های آلوده به مس. دانشگاه تهران. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۲(۳).
- احمدی بنی، معصومه، نیک نهاد قرماخر، حمید، مارامایی، مشهدقلی و عظیمی، مژگان السادات. (۱۳۹۴). اثر گونه وتیور گراس (*Chrysopogon zizanioides*) در برخی از خصوصیات خاک (مطالعه موردی: ایستگاه کچیک، مراوه تپه، استان گلستان). *نشریه علمی پژوهشی مرتع*، ۹(۳)، ۲۶۸-۲۸۰.
- ارزانی، حسین و عابدی، مهدی. (۱۳۹۴). ارزیابی مرتع: اندازه گیری پوشش گیاهی، جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۲۲ صفحه.
- جلالی پور، هانیه و قائمی، علی اصغر. (۱۳۹۲). بررسی امکان استفاده از گیاه وتیور در پالایش دفن گاه پسماندهای شهری. *پژوهش آب ایران*، ۷(۱)، ۴۵-۵۲.
- جهانبازی، حسن، حسینی نصر، سیدمحمد، ثاقب طالبی، خسرو و حجتی، سیدمحمد. (۱۳۹۳). تأثیر تنش شوری بر فاکتورهای رویشی، پرولین، رنگیزه های گیاهی و جذب عناصر در اندام هوائی چهار گونه بادام وحشی. *مجله پژوهش های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)*، ۲۷(۵)، ۷۷۷-۷۸۷.
- خمدی، فاطمه، بخشنده، عبدالمهدی و خمدی، نرگس. (۱۳۹۳). بررسی اثر تنش شوری بر محتوای یون ها، پرولین و میزان رشد اولیه ارقام ماش. *دوفصلنامه ی علوم به زراعی گیاهی*، ۴(۱)، ۱-۴.
- رستمی هیر، میترا، گالشی، سرالله، سلطانی، افشین و زینلی، ابراهیم. (۱۴۰۳). بررسی تاثیر تنش شوری کلرید سدیم بر تجمع سدیم، پتاسیم، نیتروژن و اسید آمینه پرولین در ارقام سویا. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۷(۱)، ۳۸-۱۹.
- عابدی کوپایی، جهانگیر، جمالیان، محمدعلی و درافشان، محمدمهدی. (۱۳۹۹). بهبود کیفیت شیرابه محل دفن پسماند شهر اصفهان به روش گیاه پالایی با استفاده از گیاهان وتیور و نی به منظور استفاده در آبیاری فضای سبز. *مجله آب و فاضلاب*، ۳۱(۳)، ۱۱۱-۱۰۱.
- عسگری، ابراهیم، طالبی، علی، کیانی هرچگانی، محبوبه و امانیان، نصرت اله. (۱۴۰۲). اثر گیاه وتیور در کاهش رواناب و هدررفت خاک در دامنه های محدب-موازی و مقعر-موازی در شرایط آزمایشگاهی. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۷(۶۳)، ۱۲-۲۴.
- کلهر، حسین، گنجی دوست، حسین و آیتی، بیتا. (۱۳۹۷). تحلیل آماری حذف همزمان شوری و بار آلی توسط فرآیند گیاه پالایی. *مجله علمی پژوهشی مهندسی عمران مدرس*، ۱۸(۳).
- لطف الهی، لیلا، ترابی گل سفیدی، حسین و امیدی، حشمت. (۱۳۹۴). بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر پرولین، رنگدانه های فتوسنتزی و رطوبت نسبی برگ گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria Chamomilla L.*) در محیط آبکشت. *نشریه پژوهش های تولید گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان*، ۲۲(۱)، ۸۹-۱۰۳.
- محسن زاده، ساسان، کشت ورز، محمدرضا، محسن زاده، مهدی، نظری، مهدی، پورباقری، مجتبی و آتش دهقان، عرفان. (۱۴۰۲). اصلاح خاک آلوده به هیدروکربن های نفتی با گیاه پالایی وتیور. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۱۸(۱)، ۶۰۹۱-۶۰۸۴.
- محمدی گلرنگ، بهرام، گزانچیان، غلامعلی، رضوانی مقدم، رمضان، فلاحتی، حسن، روحانی، حمید و مشایخی، مژگان. (۱۳۸۷). برآورد وزن علوفه چند گونه مرتعی از طریق اندازه گیری قطر و ارتفاع گیاه. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۵(۲)، ۱۵۸-۱۷۸.
- ملکی، طیبه، عطایان، بهناز، محمدپرست، بهروز و اختری، داود. (۱۳۹۶). اثر تنش شوری ناشی از کلرید سدیم بر رشد و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه وتیور گراس *Chrysopogon zizanioides* در شرایط گلخانه ای. *مجله حفاظت زیست بوم گیاهان*، ۵(۱۰)، ۱۱۹-۱۳۷.
- ملکی، طیبه، عطایان، بهناز، محمدپرست، بهروز و اختری، داود. (۱۳۹۳). بررسی برخی صفات رشد و فیزیولوژیکی گیاه *chrysopogon zizanioides* در خاک های شور (در شرایط گلخانه ای). *نشریه مرتعداری دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان*، ۱(۳)، ۳۸-۲۱.

- منصوریان، علیرضا، وزیر، آتوسا، زمانی، محمدرضا و حیدریان نائینی، فاطمه. (۱۳۹۷). بررسی پالایش سیانید خاک با کاشت وتیور (*Vetiveria zizanioides*) نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۸ (۴).
- نوابیان، مریم، کوچکی پستکی، کتابون و اسمعیلی ورکی، مهدی. (۱۳۹۶). بررسی عملکرد گیاهان وتیور، تیفا و نی بر بهبود کیفیت زه آب اراضی شالیزاری (مطالعه موردی: استان گیلان). نشریه آبیاری و زهکشی/ایران، ۱ (۱۱): ۱۱۳-۱۲۷.
- نوشادی، مسعود و ولی زاده، حسین. (۱۳۹۵). تأثیر گیاه وتیور در کاهش شوری و املاح خاک. نشریه آب و خاک دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۰ (۳)، ۷۹۶-۸۰۴.
- نوشادی، مسعود و نوری پور، روح اله. (۱۳۹۹). تحلیل و شبیه سازی تأثیر گیاه وتیور بر کاهش شوری و سدیم خاک با استفاده از مدل HYDRUS-1D. دانشگاه تهران. تحقیقات آب و خاک/ایران، ۵۱ (۲).
- نیک نهاد قرماخر، حمید، قلی زاده، گلدی محمد و مارامایی، مشهدقلی. (۱۳۹۳). مطالعه اثرات توپوگرافی بر زنده مانی وتیور گراس در حوزه آبخیز کچیک. نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۸ (۳)، ۲۳۷-۲۳۰.

REFERENCES

- Abedi Koupai, J., Jamalian, M. A. and Dorafshan, M. M. (2020). Improving Isfahan Landfill Leachate Quality by Phytoremediation Using Vetiver and Phragmites Plants in Green Space Irrigation. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab* (in persian), 31(3), 101-111. (InPersian).
- Ahmadian, M., Golchin, A., Alamdari, P., & Assadian, G. (2021). The effect of two biodegradable chelates on phytoremediation potential of Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) in copper contaminated soils. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(3). (InPersian).
- Ahmadi Bani, M., Niknahad Ghermakher, H., Marmae, M., & Azimi, M. A. (2016). Effects of planting Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) on some soil physico-chemical characteristics (A case study: Kechik station, Maraveh Tappeh, Northern Iran). *Iranian Society of Rango Management*, 9(3), 268-280. (InPersian).
- Akhzari, D., & Ghasemi Aghbash, F. (2013). Effect of salinity and drought stress on the seedling growth and physiological traits of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* Stapf). *Journal of Ecopersia*, 1, 339-352.
- Alan, J. M., Baker, M., McGrath, S. P., Reeves, R. D., & Smith, J. A. C. (2000). Metal hyperaccumulator plants: A review of the metal-polluted soils. In N. Terry & G. Banuelos (Eds.), *Phytoremediation of contaminated soil and water* (pp. 85-107). CRC Press.
- Amor, N. B., Hamed, K. B., & Debez, A. (2005). Physiological and antioxidant response of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Science*, 168, 889-899.
- Arzani, H., & Abedi, M. (2015). Rangeland evaluation: Measurement of vegetation cover. *University of Tehran Press*, (Vol. 2, 322 pp.). (InPersian).
- Asgari, E., Talebi, A., Kiani-Harchegani, M., & Amanian, N. (2024). The effect of Vetiver plant on runoff reduction and soil loss in parallel-convex and concave hillslopes in laboratory conditions. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 17(63), 12-24. (InPersian).
- Bates, L. S., Waldern, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Chuck, C. N., Amru, N. B., Mhd, R. A., Noor Zalina, M., & Fengxiang, H. (2019). Phytoassessment of vetiver grass enhanced with EDTA soil amendment grown in single and mixed heavy metal-contaminated soil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(434), 1-16.
- Cuong, D. C., Minh, V. V., & Truong, P. (2015). Effects of sea water salinity on the growth of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L.). *Modern Environmental Science and Engineering*. [https://doi.org/10.15341/mese\(2333-2581\)/04.01.2015/004](https://doi.org/10.15341/mese(2333-2581)/04.01.2015/004)
- Chutipaijit, S., Cha-um, S., & Sompornpailin, K. (2013). High contents of proline and anthocyanin increase protective response to salinity in *Oryza sativa* L. spp. indica. *Australian Journal of Crop Science*, 5(10), 1191-1198.
- Datta, R., Quispe, M. A., & Sarkar, D. (2011). Greenhouse study on the phytoremediation potential of vetiver grass, *Chrysopogon zizanioides* L., in arsenic-contaminated soils. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86, 124-128. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0185-8>
- Donjatee, S., & Tingsanchali, T. (2012). Reduction of runoff and soil loss over steep slopes by using vetiver hedgerow systems. *Paddy and Water Environment*, 11, 573-581.
- Ganjidoust, H., Kalehr, H., & Aiti, B. (2018). Statistical analysis of simultaneous removal of salinity and



- organic loading from wastewater using phytoremediation process. *Modares Journal of Civil Engineering*, 18(3), 207–220. (InPersian).
- Grimshaw, R. G. (1993). The role of vetiver grass in sustaining agricultural productivity. Asia Technical Department, The World Bank, Washington, DC.
- Ghotbizadeh, M., & Sepaskhah, A. R. (2015). Effect of irrigation interval and water salinity on growth of vetiver (*Vetiveria zizanioides*). *International Journal of Plant Production*, 9, 17–38.
- Halcomb, M., McMinnville, T., & Fare, D. (2009). The pot-in-pot (PNP) production system. University of Tennessee Extension.
- Jahanbazi, H., Hosseini Nasr, S. M., Saqib Talebi, K., & Hojjati, S. M. (2013). Effect of salinity stress on vegetative factors, proline, plant pigments, and element uptake in the aerial parts of four wild almond species. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(5), 777–787. (InPersian).
- Jalali Pour, H., & Qaemi, A. A. (2013). Evaluation of the feasibility of using vetiver grass for remediation of municipal solid waste landfill. *Iranian Journal of Water Research*, 7(1), 45–52. (InPersian).
- Jayashree, S., Rathinamala, J., & Lakeshm, P. (2011). Determination of heavy metal removal efficiency of *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) using textile wastewater contaminated soil. Department of Biosciences, *Nehru Arts and Science College*, India.
- Kachout, S., Mansoura, B., Jaffel, K., Jogloy, S., Kesmala, T., & Patanothai, A. (2009). Effects of salinity on the growth of the halophyte *Atriplex hortensis* (Chenopodiaceae). *Applied Ecology and Environmental Research*, 7, 319–332.
- Khmodi, F., Bakhshandeh, A. M., & Khmodi, N. (2014). Effect of salinity stress on ion content, proline, and early growth of mung bean cultivars. *Journal of Plant Production Sciences*, 4(1), 1–4. (InPersian).
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350–382.
- Liu, P., Zheng, C., Lin, Y., Luo, F., Lu, X., & Yu, D. (2003). Study on digestibility of nutrient content of vetiver grass. China Vetiver Workshop.
- Liu, J., Yao, M., & Ma, Q. (2016). Salt tolerance of a wild ecotype of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* L.) in southern China. *Botanical Studies*, 57(27).
- Lotfollahi, L., Torabi, H. and Omid, H. (2015). Salinity effect on proline, photosynthetic pigments and leaf relative water content in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) in hydroponic condition. *Journal of Plant Production Research*, 22(1), 89–103. (InPersian).
- Maleki, T., Ataeian, B., Mohammadparast, B., & Akhzari, D. (2017). Effects of sodium chloride stress on growth and physiological characteristics of plants *Chrysopogon zizanioides* in the greenhouse. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 5(10), 119–137. (InPersian).
- Maleki, T., Ataeian, B., Mohammadparast, B., & Akhzari, D. (2014). Investigation of some growth and physiological traits of *Chrysopogon zizanioides* in saline soils (under greenhouse conditions). *Journal of Rangeland Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 1(3), 21–38. (InPersian).
- Mane, A. V., Saratale, G. D., Karadg, B. A., & Samant, J. S. (2011). Studies on the effects of salinity on growth, polyphenol content and photosynthetic response in *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 23, 59–70.
- Mansoorian, A. R. , Vaziri, A. , Zamani, M. R. and Heidaryan Naeini, F. (2019). The Study of Remediation in Soil Cyanide Using *Vetiveria Zizanioides*. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 8(4), 155–165. (InPersian).
- Messedi, D., Ozturk, M., Waisel, Y., Khan, M. A., & Görk, G. (2006). Effect of nitrogen deficiency, salinity and drought on proline metabolism in *Sesuvium portulacastrum*. In *Biosaline agriculture and salinity tolerance in plants* (pp. 65–72). Birkhäuser Basel.
- Misra, N., & Gupta, A. K. (2005). Effect of salt stress on proline metabolism in two high-yielding genotypes of green gram. *Plant Science*, 169(2), 331–339.
- Mohammadi, M. (2013). Effect of silicon and salicylic acid on some physiological, biochemical, and morphological characteristics of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L. var. Fancy) under salinity stress. *Master's thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Agriculture and Natural Resources*, 10–12. (inPersian).
- Mohammadi Golrang, B., Gazanchian, G. A., Ramzani Moghadam, R., Falahati, H., Rouhani, H., &

- Mashayekhi, M. (2008). Estimation of forage yields of some range plant species by plant height and diameter measurements. (*inPersian*).
- Mohsenzadeh, S., Keshtvarz, M., Mohsenzadeh, M., Nazari, M., Poorbagheri, M. and Atashdehghan, E. (2023). Treatment of contaminated soil to petroleum hydrocarbons with Vetiver phytoremediation. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(1), 6084-6091. (*inPersian*).
- Movafegh, S., Razeghi Jadid, R., & Kiabi, S. H. (2012). Effect of salinity stress on chlorophyll content, proline, water soluble carbohydrate, germination, growth and dry weight of three seedling barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 8, 157–168.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–668.
- Navabian, M., Kochaki Pastaki, K. and M. Esmaeili Varaki, M. (2017). Effect of Plant Vetiver, Typha and Reed on Improvement of Paddy Field Drains (Case study: Guilan province). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 11(1), 113-127. (*inPersian*).
- Nazari, M. (2013). Investigation of physiological responses and herb extraction of root and herb in different percent of wastewaters (MSc dissertation). Shiraz University, Faculty of Basic Sciences.
- Niknahad, H., Gholizadeh, G. M., & Maramaee, M. G. (2014). Evaluating the effects of topography on the survival of vetiver grass in the Kechik catchment. *Rangeland*, 8(3), 230–237. (*InPersian*).
- Noshadi, M. and Nouripour, R. (2020). Analysis and Simulation of Vetiver Grass Effect on Reducing Salinity and Sodium of Soil Using HYDRUS-1D Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(2), 341-352. (*InPersian*).
- Noshadi, M. and Valizadeh, H. (2016). Effect of Vetiver Grass on Reduction of Soil Salinity and Some Minerals. *Water and Soil*, 30(3), 796-804. (*InPersian*).
- Perel'man, A. I. (1966). Landscape geochemistry (Trans. No. 676, Geological Survey of Canada, 1972). Vysshaya Shkola.
- Pongvichian, P., Uaemkhli, P., Phruekapong, A., & Phothipan, P. (2005). The role of salt on the growth and development of vetiver. *Bhumivarin*, 19, 22–26.
- Qasim, M., Ashraf, M. M., Jamil, A. M., Rehman, Y. S. U., & Rha, E. S. (2003). Water relations and gas exchange properties in some elite canola (*Brassica napus* L.) lines under salt stress. *Annals of Applied Biology*, 142, 307–316.
- Rostami Hir, M., Galeshi, S. A., Soltani, A., & Zeinali, E. (2024). Effect of salinity stress on accumulation of Na⁺, K⁺, N ions, and proline in soybean cultivars (*Glycine max* L.). *Journal of Crop Production*, 17(1), 19–38. (*inPersian*).
- Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R., Shoukat, A., & Sarwar, M. I. (2019). A review: Impact of salinity on plant growth. *Natural Science*, 17(1), 34–40.
- Suleiman, M. K., Bhatt, A., Madouh, T. A., Islam, M. A., Jacob, S., Thomas, R. R., & Sivadasan, M. T. (2023). Effects of salt stress on growth, proline and mineral content in native desert species. *Sustainability*, 15(7), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su15074423>
- Truong, P., & Gordon, L. (1992). Vetiver grass for saline land rehabilitation under tropical and Mediterranean climate. NRM, Queensland.
- Truong, P., Gordon, L., Armstrong, F., & Shepherdson, J. (2002). Vetiver grass for saline land rehabilitation under tropical and Mediterranean climate. Productive Use and Rehabilitation of Saline Lands National Conference, Fremantle, Australia.
- Zhou, Q., & Yu, B. J. (2009). Accumulation of inorganic and organic osmolytes and their role in osmotic adjustment in NaCl-stressed vetiver grass seedlings. *Russian Journal of Plant Physiology*, 56, 678–685. <https://doi.org/10.1134/S1021443709050148>.