

Assessment of Physiological and Morphological Traits in Three Groundcover Species for Urban Green Spaces under Drought Stress

M. Ahmadpour¹, A. Mousavi Bazaz^{1*}, A. Tehranifar¹

1- Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: mousaviba@um.ac.ir)

Received: 19 May 2025
Revised: 08 November 2025
Accepted: 11 November 2025
Available Online: 11 November 2025

How to cite this article:

Ahmadpour, M., Mousavi Bazaz, A., & Tehranifar, A. (2026). Assessment of physiological and morphological traits in three ground cover species for urban green spaces under drought stress. *Journal of Horticultural Science*, 40(3), 401-414. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93610.1430>

Introduction

With respect to the expansion of arid areas and the escalating severity of water scarcity in various parts of the country, it is necessary to identify drought-tolerant groundcover species to replace grass in urban green spaces. This study aimed to research the morphological and physiological reactions of three groundcover species; tall fescue (*Festuca arundinacea*), *Phylla nodiflora*, and *Sedum acre* under various levels of drought stress (20, 40, 60, and 80 % of field capacity). The results demonstrated that as drought stress intensity intensified, root length, fresh and dry weight, relative leaf water content, and chlorophyll *a* and *b* levels decreased significantly, whereas electrolyte leakage increased substantially. The highest shoot length in *Festuca* was observed at 80% of field capacity (13.5 cm), But in *Phylla*, the highest growth was achieved at a moisture level of 60% (17 cm), which had a significant difference at the 5% probability level with the 80% level (14 cm). The *Phylla* species was superior in most physiological and functional traits, the highest amount of chlorophyll *a* and chlorophyll *b* was observed for this species at a moisture level of 20%. While for the other two species, the highest value was observed at a moisture level of 60%. *Sedum* spp. showed the most stress symptoms under conditions of increased irrigation period, considering its root structure and function. Overall, the results of this study showed that *Phylla nodiflora* can be a suitable alternative to grass in urban green space design in dry areas as a resistant species with low water requirements.

Materials and Methods

The experiment was performed under greenhouse conditions at the Ferdowsi University of Mashhad (36°20'N, 59°39') to assess drought stress responses among groundcover species that were chosen for this study. Seeds of *F. arundinacea* were planted in a pot, while *Phylla nodiflora* and *Sedum acre* were propagated from cuttings with uniform root systems. A completely randomized design was utilized, involving four irrigation levels (20%, 40%, 60%, and 80% of field capacity) and three replications for each species. Treatment for the drought commenced once the area was fully established and persisted for 75 days. Characteristics such as shoot height, root length, and fresh and dry biomass, along with physiological properties like relative water content and electrolyte leakage, and biochemical markers including chlorophyll *a* and chlorophyll *b*, were evaluated at the experiment's conclusion. Measurements of relative water content (RWC) and electrolyte leakage (EL) were carried out using established procedures (Yang et al., 2021; Samieiani, 2012), while pigment contents were determined via spectrophotometry (Lichtenthaler, 1987). The daily water usage was calculated through



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93610.1430>

weighing, followed by ANOVA and LSD test analysis conducted at a 5% significance level within Minitab 22, with the graphs produced using Excel software.

Results and Discussion

Analysis of variance revealed that drought stress significantly affected all morphological traits of *Festuca* and *Sedum* at the 1% probability level, and most traits of *Phyla* at either 1% or 5%. The greatest shoot length in *Festuca* was recorded under 80% field capacity (FC), not significantly different from 60% FC, while *Phyla* showed its maximum shoot length at 60% FC, with a significant decline under both milder and more severe stress. In all species, minimum shoot length occurred at 20% FC. Root length followed a similar trend, decreasing with increasing drought intensity. *Festuca* showed the highest root length under 80% FC, whereas *Sedum* and *Phyla* exhibited variable responses among stress levels. Root fresh weight was highest at 80% FC in all species and declined significantly under increased drought stress. Compared with control conditions, reductions in root fresh weight at 60% FC were 7% for *Festuca*, 9.5% for *Sedum*, and an increase of 72.5% for *Phyla*, indicating differential tolerance. Similarly, shoot fresh weight decreased with increasing stress in *Festuca* and *Sedum*, while *Phyla* reached its maximum value at 60% FC. Relative water content (RWC) declined with higher stress intensity, with the greatest reductions observed under 20% FC (reductions of 51.72%, 62.12%, and 49.6% for *Festuca*, *Sedum*, and *Phyla*, respectively). Electrolyte leakage increased significantly with stress severity, reaching maximum values of 44%, 62%, and 57% in *Festuca*, *Sedum*, and *Phyla* under 20% FC. Chlorophyll *a* and *b* contents showed variable patterns across species. In *Festuca* and *Sedum*, maximum chlorophyll *a* and *b* occurred at 60% FC, while in *Phyla*, the highest values were observed under severe drought stress (20% FC). These differences suggest species-specific physiological adjustment mechanisms under water deficit conditions.

Conclusion

The groundcover species examined in this study responded differently to drought stress. *Phyla nodiflora* performed better in most physiological and morphological parameters with notable tolerance to water deficit stress. On the other hand, *Sedum acre* was the most sensitive plant to drought. As drought severity increased, key parameters such as root length, fresh biomass, relative water content of leaves, and chlorophyll content decreased, whereas electrolyte leakage increased. These findings reinforce the importance of utilizing drought-tolerant species like *Phyla nodiflora* for future sustainable urban landscape design. Replacement of high-water-demand lawns with such robust groundcovers can help significantly in the preservation of water resources. However, more studies need to be carried out to find out the long-term adaptation and adaptability of these species under diverse weather and irrigation regimes.

Acknowledgment

We would like to express my appreciation for the financial support provided by Ferdowsi University of Mashhad for conducting this research.

Keywords: *Festuca arundinacea*, *Phyla nodiflora*, *Sedum acre*, Lawn, Urban landscape

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص. ۴۱۴-۴۰۱

مطالعه شاخص‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک در سه گونه پوششی فضای سبز شهری در

شرایط تنش خشکی

محمد احمدپور^۱ - آزاده موسوی بزاز^{۱*} - علی تهرانی فر^۱ 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۰

چکیده

با توجه به گسترش روزافزون مناطق خشک و تشدید بحران کم‌آبی در مناطق مختلف کشور، شناسایی گونه‌های پوششی مقاوم به خشکی برای جایگزینی چمن در فضای سبز شهری ضروری است. این پژوهش با هدف بررسی واکنش‌های ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی سه گونه پوششی شامل چمن فستوکا بلند (*Festuca arundinacea*)، 'فیلا' (*Phyla nodiflora*) و 'سدوم گری' (*Sedum acre*) تحت سطوح مختلف تنش خشکی (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی) انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، صفاتی مانند طول ریشه، وزن تر و خشک، محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل‌های *a* و *b* به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند، درحالی‌که نشت الکترولیت به‌طور چشمگیری افزایش پیدا کرد. بیشترین طول اندام هوایی در 'فستوکا' در سطح ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (۱۳/۵ سانتی‌متر) مشاهده شد، اما در 'فیلا' بیشترین رشد در سطح رطوبتی ۶۰ درصد (۱۷ سانتی‌متر) به دست آمد که اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با سطح ۸۰ درصد (۱۴ سانتی‌متر) داشت. گونه 'فیلا' در اغلب صفات فیزیولوژیکی و عملکردی برتری داشت، بیشترین میزان کلروفیل *a* و *b* برای این گونه در سطح رطوبت ۲۰ درصد مشاهده شد، درحالی‌که برای دو گونه دیگر، بیشترین مقدار در سطح رطوبت ۶۰ درصد مشاهده شد. گیاه 'سدوم گری' با توجه به ساختار و عملکرد ریشه، در شرایط افزایش دوره آبیاری، بیشترین علائم تنش را از خود نشان داد. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که 'فیلا' می‌تواند به‌عنوان گونه‌ای مقاوم و کم‌نیاز به آب، جایگزینی مناسب برای چمن در طراحی فضای سبز شهری مناطق خشک باشد.

واژه‌های کلیدی: چمن، سدوم گری، فستوکا بلند، فیلا، منظر سبز شهری

مقدمه

(2022). این تنش بیشتر از بیماری‌ها به کشاورزی آسیب می‌زند (Gupta, 2020). در ایران که ۷۵ درصد اقلیم آن خشک و نیمه‌خشک است، انتخاب گیاهان مقاوم به خشکی ضروری به نظر می‌رسد (Mirzaei Hassanlou et al., 2024). از طرفی، فضاهای سبز شهری، نقش بی‌بدیلی در ارتقای کیفیت زندگی، کاهش دمای محیط، تلطیف هوا و افزایش سلامت روانی شهروندان دارند (Shiravand, 2012)، توسعه آن‌ها نه تنها یک ضرورت زیست‌محیطی بلکه یک اولویت اجتماعی و فرهنگی محسوب می‌شود (Hatami Nezhad & Omranian, 2010). مطابق با استانداردهای سازمان ملل، سرانه فضای سبز برای هر فرد باید ۲۰ تا ۲۵ مترمربع باشد (Vahdati et al., 2015). گیاهان زمین‌پوش با گستردگی افقی مناسب و مقاومت زیاد به خشکی، گزینه‌هایی مناسب برای تحقق این هدف هستند. گیاهان پوششی با بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و

بحران کم‌آبی که در نتیجه عواملی نظیر رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی تشدید شده (Eidi et al., 2021)، به یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر بدل شده است (Harper et al., 2020). کشور ایران با متوسط بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر، در شمار کشورهای با اقلیم خشک و نیمه‌خشک جهان قرار می‌گیرد که نیازمند مدیریت دقیق منابع آبی است (Ebrahimian & Kazemi, 2017). تنش خشکی زمانی رخ می‌دهد که جذب آب کمتر از تبخیر باشد، که این امر بر فتوسنتز و رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (Ghorbani et al., 2022).

۱- گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: mousaviba@um.ac.ir)

پنج انگشت و شبدر سفید، مقاومت مناسبی را نسبت به تنش خشکی نشان دادند، درحالی که چمن لولیوم چندساله از نظر ویژگی‌های اندام زیرزمینی مقاومت خوب و کافی نسبت به تنش نداشت و مناسب شرایط تنش خشکی نبود (Samieiani et al., 2013). گونه‌های ناز یخی^۸، دم‌عقربی^۹ و فرانکنیا برای استفاده و کاشتن در فضای سبز با اقلیم‌های گرم و خشک مناسب بودند (Shushtarian et al., 2011). گونه آویشن دنايي^{۱۰} نسبت به آویشن باغی^{۱۱} می‌تواند رشد موفقیت‌آمیزی بهتری در مناطق اقلیمی خشک و نیمه‌خشک داشته باشد و برای کاشت در این مناطق توصیه می‌گردد (Askari et al., 2015; Yousepzadeh, 2017). گونه‌های گل یخ (ناز یخی) و دم عقربی مقاومت خوبی نسبت به تنش کم‌آبی در بین چهار نوع گیاه پوششی پنج‌انگشت، دم‌عقربی، ناز یخ و فرانکنیا از خود نشان دادند (Elhami, 2016). هدف این پژوهش، ارزیابی عملکرد چند گونه گیاه پوششی به‌منظور جایگزینی با چمن در فضای سبز شهری، با تأکید بر کاهش مصرف آب و ارتقای تنوع گیاهی در کاربرد زمین‌پوش‌ها است.

مواد و روش

پژوهش حاضر در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در طول جغرافیایی ۳۹°۵۹' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶°۲۰' شمالی، در مرداد ماه سال ۱۴۰۳ صورت پذیرفت و پس از استقرار کامل گیاهان، دوره اعمال تنش خشکی و بررسی صفات به‌مدت ۷۵ روز ادامه یافت.

مواد گیاهی

ابتدا گلدان سطل ۱۰، با قطر دهانه داخلی ۲۴ و ارتفاع ۲۳/۵ سانتی‌متر با وزن ۲۷۰ گرم تهیه و جهت تسریع زهکشی و خارج شدن آب از انتهای گلدان‌ها سه سانتی‌متر شن بادمی (گراویه) معادل ۱۰۳۰ گرم ریخته شد، سپس گلدان‌ها از خاک باغچه مشابه به‌میزان ۷۰۰۰ گرم پر شدند. برای بستر کاشت، سطح فوقانی خاک با یک لایه یک سانتی‌متری از خاک‌برگ پوشانده شد.

برای کاشت چمن، در هر گلدان ۱۲ گرم بذر چمن 'فستوکا بلند'^{۱۲} استفاده شد. دو گونه پوششی دیگر شامل 'فیلا'^{۱۳} و 'سدوم

زیستی خاک، تأمین مواد غذایی، کاهش فرسایش و سرکوب علف‌های هرز، نقش کلیدی در کشاورزی پایدار و فضای سبز دارند (Willson & Slocum, 2017; Blanco-Canqui et al., 2015). همچنین با تولید زیست‌توده زیاد و بسته شدن سریع تاج‌پوشش، رشد علف‌های هرز را محدود می‌کنند (Linares et al., 2008). چمن‌ها به‌ویژه چمن‌های زینتی (Lawn)، به‌دلیل تحمل پاخوری و قابلیت چمن‌زنی، در فضای سبز شهری کاربرد گسترده‌ای دارند (Talebi, 2012; Ghorbani, 2021). چمن اگرچه از نظر سرعت استقرار اهمیت دارد (Mousavi Bazaz, 2015)، اما به‌دلیل مصرف بالای آب و نیاز به نگهداری مستمر، گزینه‌ای ناکارآمد در شرایط کنونی اقلیمی محسوب می‌شود (Shushtarian et al., 2011). از جمله راهکارهای پیشنهادی برای حل این مشکل، استفاده از شیوه‌های نوین مانند اصلاح خاک، کاربرد مالچ و طراحی دقیق آبیاری مکانیزه توصیه می‌شود (Ferrini et al., 2008). برای مقابله با تنش خشکی، بهره‌گیری از سیستم‌های آبیاری هدفمند و نوین نظیر آبیاری زیرسطحی و استفاده از مواد جاذب رطوبت در خاک نیز می‌تواند اثربخش باشد (Azadifar et al., 2024). همچنین طراحی زون‌بندی‌شده فضاهای سبز براساس نیاز آبی گونه‌ها نیز توصیه شده است (Shirinzadeh et al., 2022). یکی از مهم‌ترین راهکارهای پیشنهادی، جایگزینی چمن پرمصرف با گونه‌های بومی و مقاوم به خشکی از جمله گیاهان پوششی جایگزین چمن در فضای سبز شهری است (Karimian, 2019). گراس‌های بومی ایران از مقاومتی خوبی در مقابل تنش خشکی برخوردارند و این گیاهان بومی توانایی مناسبی در جهت اصلاح و توسعه استفاده در شرایط خشکی را فراهم می‌سازند (Gazanchian et al., 2006). گیاهان پوششی از جمله گونه‌های کم‌ارتفاع مانند فرانکنیا^۱، لیزوماکیا^۲ و آویشن خزنده^۳، نقش مهمی در پوشش خاک و کاهش فرسایش ایفا می‌کنند و سبب بهبود کیفیت خاک می‌شوند (Willson & Slocum, 2017)، این گیاهان با ایجاد لایه‌ای متراکم، زیستگاه مناسبی برای حشرات فراهم کرده و نیاز به نگهداری کمتری نسبت به چمن دارند (Esmaeili et al., 2017). در بررسی انجام‌شده روی تأثیرات تنش کم‌آبی بر چند ویژگی کمی و کیفی در چهار گیاه پوششی با نام‌های پنج‌انگشت^۴، فرانکنیا^۵، چمن لولیوم چندساله^۶ و شبدر سفید^۷ مشاهده گردید که گونه‌های فرانکنیا،

- 1- *Frankenia*
- 2- *Lysimachia*
- 3- *Thymus praecox*
- 4- *Potentilla*
- 5- *Frankenia*
- 6- *Lolium perenne*
- 7- *Trifolium repens*

8- *Mesembryanthemum cordifolium*

9- *Carpobrotus acinaciformis*

10- *Thymus daenensis Celak*

11- *Thymus vulgaris*

12- *Festuca arundinacea*

13- *Phyla nodiflora*

ساعت با استفاده از شیکر تکان داده شدند. پس از این مدت، هدایت الکتریکی نمونه‌ها (E_1) با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (Jenway Conductivity/TDS Meter 4510) اندازه‌گیری شد. به‌منظور کشتن سلول‌ها و آزادسازی کل الکترولیت‌ها، لوله‌های آزمایش به اتوکلاو منتقل شدند و در دمای 120°C درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شدند. پس از سرد شدن محتویات لوله‌ها، مجدداً هدایت الکتریکی اندازه‌گیری گردید (E_2)، در نهایت، میزان نشت الکترولیت با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Samieiani, 2013).

$$EL = (E_1 - E_2) \times 100 \quad (2)$$

جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل، 0.1 گرم بافت برگ تازه در 10 میلی‌لیتر متانول با استفاده از هاون سائیده و هم‌کن‌سازی شد تا سوسپانسیونی یکنواخت حاصل گردد. سپس مخلوط به مدت 15 دقیقه با سرعت 5000 دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول رویی (سوپرناتانت) جمع‌آوری و جذب نور آن در طول موج‌های 470 ، 652 و 665 نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت، غلظت کلروفیل براساس روابط ارائه‌شده توسط لیچنتال (Lichtenthaler, 1987) (معادله‌های ۳ و ۴) محاسبه گردید.

$$Chl_a = 16.72 \times A_{665} - 8.16 \times A_{648} \quad (3)$$

$$Chl_b = 22.9 \times A_{648} - 4.68 \times A_{665} \quad (4)$$

که در آن‌ها، Chl_a : محتوای کلروفیل a و Chl_b : محتوای کلروفیل b است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

طرح آماری مورد استفاده، طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بود. تجزیه آماری حاصل از صفات اندازه‌گیری‌شده با استفاده از روش تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به‌روش آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، به‌وسیله نرم‌افزار Minitab 22 انجام گردید. همچنین نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL رسم شدند.

نتایج و بحث

صفات ریخت‌شناختی

نتایج تحلیل واریانس صفات ریخت‌شناختی نشان داد که اثر تنش خشکی بر گونه‌های چمن و 'سدوم گریزی در تمامی صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در گیاه 'فیلا، تنش خشکی در صفات وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و در صفات طول اندام هوایی و طول ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱، جدول ۲ و جدول ۳).

گریزی^۱، از طریق قلمه‌های ریشه‌دارشده‌ای که همگی از یک پایه مادری و تحت شرایط یکسان و در خاک مشابه تهیه شده بودند، کشت گردیدند. این روش با هدف حذف تنوع ژنتیکی و کاهش اثرات ناشی از جهش‌های محیطی انجام گردید. در هر گلدان، دو بوته از گونه پوششی 'سدوم گریزی' و 'فیلا' کاشته شد.

طرح آزمایشی و اعمال تنش

این پژوهش به‌صورت گلدانی و طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح رطوبتی و سه تکرار روی گونه‌های گیاهی به‌منظور بررسی خصوصیات و تأثیرات برخی صفات ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان معرفی‌شده انجام پذیرفت.

پس از به دست آوردن ظرفیت زراعی در سطوح شدید، متوسط، خفیف و بدون تنش (به‌عنوان شاهد) به‌ترتیب 20 ، 40 ، 60 و 80 درصد ظرفیت زراعی، گلدان‌ها به‌صورت روزانه توزین و تا رسیدن به سطح رطوبتی مورد نظر آبیاری گردید.

اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه

بررسی صفات ریخت‌شناختی از قبیل طول اندام هوایی و طول ریشه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. همچنین اندازه‌گیری وزن تر و خشک به‌وسیله ترازوی دیجیتال با دقت 0.001 صورت گرفت، برای به دست آوردن وزن خشک، ریشه و اندام هوایی در آون 70°C درجه سانتی‌گراد به مدت 48 ساعت قرار گرفت، سپس وزن آن‌ها به‌وسیله ترازو دیجیتال 0.001 اندازه‌گیری شد (Abaszadeh, Farouji, 2025). صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شامل محتوای نسبی آب^۲، نشت الکترولیت، کلروفیل و میزان مصرف آب در انتهای آزمایش اندازه‌گیری گردید. به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب، نمونه‌ها بعد از توزین و محاسبه وزن تازه برگ (FW) گیاهان، به مدت 24 ساعت در آب مقطر و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شدند. بعد از گذشت 24 ساعت، وزن اشباع برگ‌ها (TW) اندازه‌گیری و برگ‌ها به مدت 24 ساعت دیگر در دمای 70°C درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و وزن خشک (DW) هرکدام اندازه‌گیری شد، سپس با استفاده از معادله ۱، محتوای نسبی آب برگ محاسبه گردید (Yang et al., 2021).

$$RWC (\%) = ((FW - DW) / (TW - DW)) \times 100 \quad (1)$$

برای محاسبه نشت الکترولیت نیز ابتدا قطعات برگ به ابعاد دو سانتی‌متر تهیه شدند و پس از شست‌وشو با 10 میلی‌لیتر آب مقطر، به لوله‌های آزمایش منتقل گردید. سپس لوله‌های آزمایش به مدت 18

1- Sedum acre

2- RWC

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات ریخت‌شناختی در گیاه چمن فستوکا بلند

Table 1- Analysis of variance (ANOVA) for mean squares of morphological traits in tall fescue (*Festuca arundinacea*)

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	طول ریشه Root length	طول اندام هوایی shoot length
تنش خشکی Drought	3	650.8**	1292.52**	2.4578**	18.10**
خطا Error	8	70.48	17.22	0.1767	0.825

**: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

**: significant at the 1% of probability level

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات ریخت‌شناختی در گیاه سدوم گریزی

Table 2- Analysis of variance (ANOVA) for mean squares of morphological traits in goldmoss stonecrop

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	طول ریشه Root length
تنش خشکی Drought	3	557.28**	1.06066**	23.5744**
خطا Error	8	50.11	0.00192	0.1842

**: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

**: significant at the 1% of probability level

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات ریخت‌شناختی در گیاه فیلا

Table 3- Analysis of variance (ANOVA) for mean squares of morphological traits in frogfruit.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	طول ریشه Root length	طول اندام هوایی shoot length
تنش خشکی Drought	3	375.43**	28.039**	9.054*	11.221*
خطا Error	8	42.72	1.048	1.624	1.681

*: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد؛ **: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

*: significant at the 5% of probability level; **: significant at the 1% of probability level

طول اندام هوایی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین این صفت نشان داد که بیشترین طول اندام هوایی در گیاه چمن در سطح شاهد (۸۰ درصد رطوبت) بود که با سطح تنش در ظرفیت ۶۰ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت، اما در گیاه 'فیلا' بیشترین طول اندام هوایی در سطح ۶۰ درصد رطوبت مشاهده شد که با سطح تنش خفیف‌تر و شدیدتر خود اختلاف معنی‌داری داشت، همچنین کمترین میزان طول اندام هوایی در هر دو گیاه مربوط به بیشترین سطح تنش، ۲۰ درصد رطوبت بوده است. در گونه 'سدوم گریزی' به علت ماهیت رشد آن، این صفت در این گیاه قابل ارزیابی نبود (شکل ۱). در پژوهش سایر محققان نیز بیان شده است که با افزایش میزان تنش خشکی در گیاه، کاهش طول ساقه مشاهده گردید که با نتایج این مطالعه سازگار بود (Ahmadi Azar

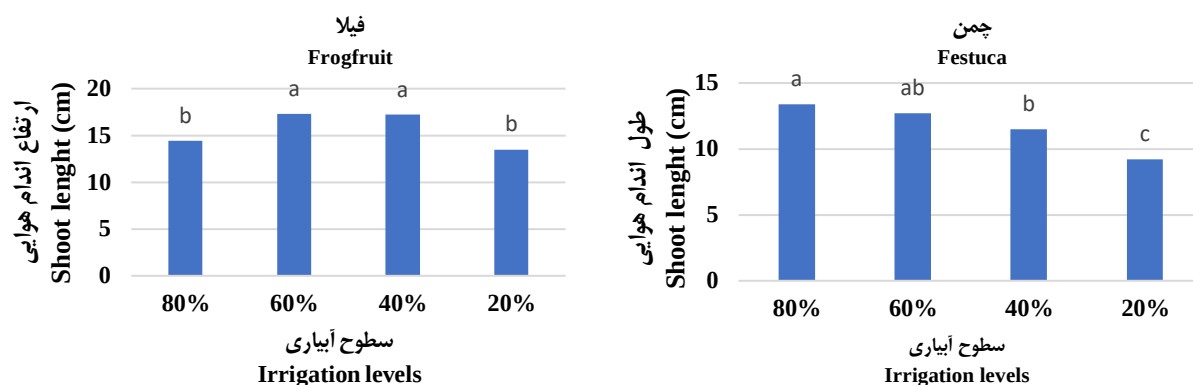
et al., 2015). کاهش تورژسانس و کاهش پتانسیل آب در بافت‌های

گیاهی می‌تواند نشانه‌ای از ظهور تنش خشکی باشد که موجب تأثیر سوء بر اندازه نهایی و رشد سلول شود (Heydari et al., 2014). این پژوهش نشان داد که گونه‌های گیاهی بسته به توان تحمل و سازگاری‌شان به شکل متفاوتی به تنش آبی واکنش نشان می‌دهند و کاهش رشد طولی به عنوان سازوکاری برای کاهش تعلق و صرفه‌جویی در مصرف آب عمل می‌کند.

خشکسالی باعث تغییرات ریخت‌شناختی در چمن مانند کاهش رشد رویشی و طول گیاه و همچنین شاخص‌های فیزیولوژیکی مانند کاهش سرعت فتوسنتز، کارایی مصرف آب و هدایت روزنه‌ای می‌شود و در نهایت ساختار آناتومیکی ساقه و ریشه را تغییر می‌دهد (Noor et al., 2024).

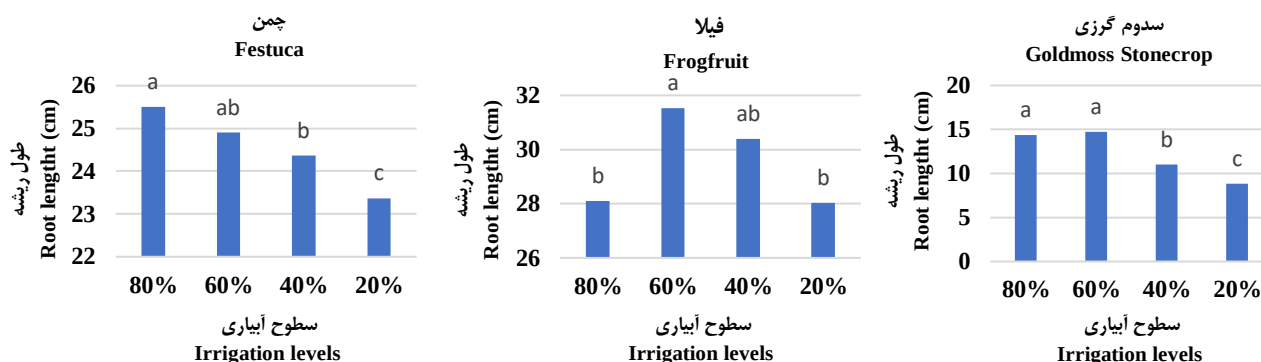
طول ریشه

بیشترین اندازه طول ریشه در گیاه چمن، متعلق به کمترین سطح تنش، ۸۰ درصد ظرفیت زراعی بود و همسو با افزایش شدت تنش میزان طول ریشه کاهش یافت، در گیاه 'سدوم گری' به ترتیب سطوح تنشی اول، سوم، چهارم قرار داشت، درحالی که در گیاه 'فیلا' به ترتیب سطوح دوم، سوم، اول و چهارم بود (شکل ۲). از عوامل مهم در میزان جذب آب، ابعاد ریشه است، لذا گسترش طول ریشه به معنای افزایش سطح تماس و بهره‌وری در جذب آب و مواد غذایی موجود در خاک است، خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه اثرگذار است و



شکل ۱- مقایسه میانگین طول اندام هوایی در گیاهان چمن و فیلا
Figure 1- Comparison of shoot length in tall festuca and frogfruit plants

حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.
Similar letters have no significant difference at 5% probability.



شکل ۲- مقایسه میانگین طول ریشه در گیاهان چمن، سدوم گری، وینکا و فیلا
Figure 2- Comparison of the mean root length in tall festuca, goldmoss stonecrop and frogfruit plants

حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.
similar letters have no significant difference at 5% probability.

وزن تر ریشه

نتایج تجزیه و تحلیل آماری برای صفت وزن تر ریشه در گیاهان 'فستوکا بلند' و 'سدوم گری' نشان داد که بیشترین مقدار این صفت مربوط به سطح ۸۰ درصدی ظرفیت زراعی بود. با افزایش

شدت تنش خشکی، وزن تر ریشه به صورت نزولی تغییر یافت و بین تمام سطوح تنش تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. به طوری که در وضعیت شاهد (FC 80%) در مقایسه با سطح دوم تنش (FC 60%)، درصد تغییرات وزن تر ریشه برای گیاهان 'فستوکا بلند'،

سطح اول تنش در گیاه 'سدوم گری' معنی دار و در گیاه 'فستوکا بلند' غیر معنی دار بود. در مقابل، در گونه 'فیلا'، بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی در تنش ۶۰ درصد ظرفیت زراعی وجود داشت (شکل ۴).

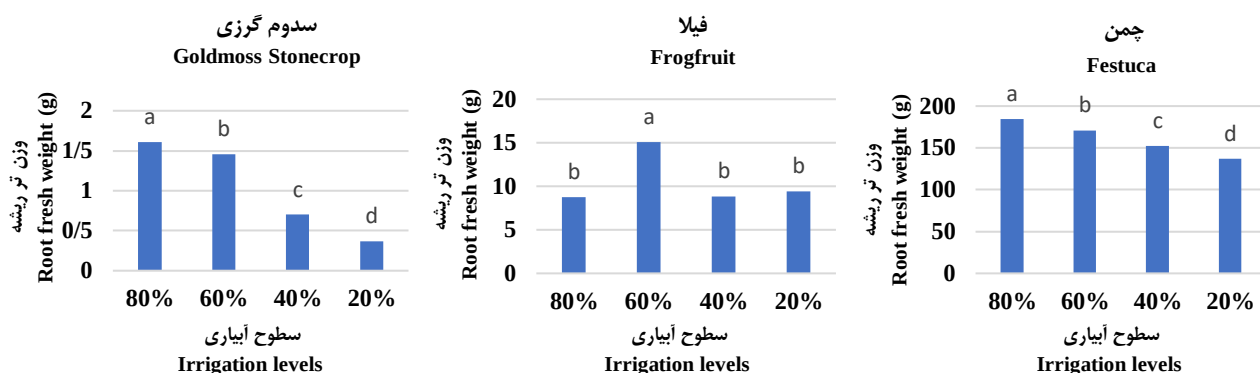
وزن تر اندام هوایی در شرایط آبیاری کامل گاهی کمتر از شرایط کم آبیاری بود که این موضوع به دو عامل نسبت داده می شود: سازگاری اکوفیزیولوژیکی گیاه با کم آبی و اختلالات ناشی از تنش غرق آبی مانند کاهش جذب عناصر غذایی و فعالیت تنفسی (Elhami, 2016). کاهش زیست توده اندام هوایی در شرایط تنش خشکی شدید، پدیده ای اجتناب ناپذیر و در عین حال یک سازوکار سازگاری حیاتی برای گیاهان محسوب می شود (Gazanchian et al., 2006).

'سدوم گری' و 'فیلا' به ترتیب برابر با $7-9/5$ ، $72/5$ درصد بود (شکل ۳)، وزن ریشه از شاخص های مهم برای ارزیابی جذب آب در شرایط خشکی محسوب می شود و ممکن است ممکن است به دلیل تفاوت در حساسیت به اسید آسزیک و تنظیم اسمزی، در شرایط خاص تنش خشکی افزایش یابد (Samieiani, 2013).

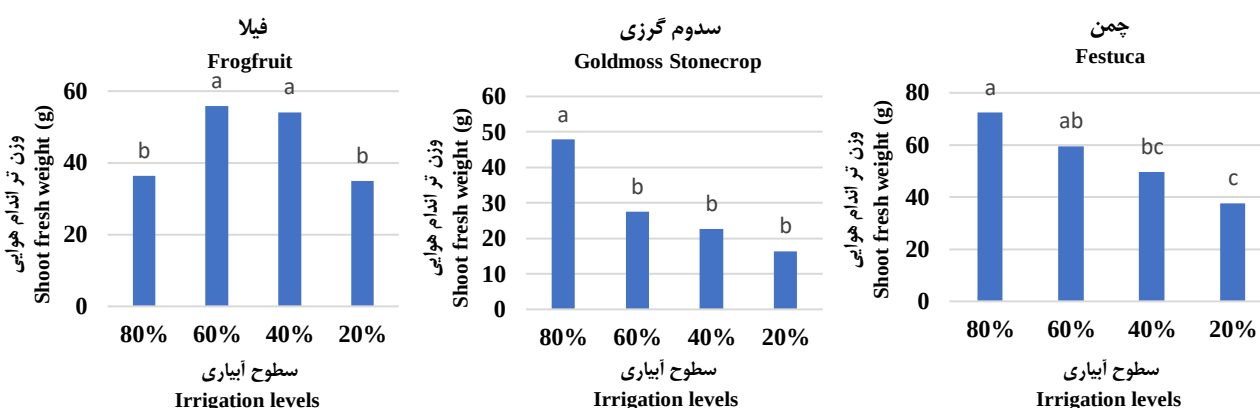
براساس نتایج این آزمایش، با تشدید تنش خشکی، گونه سدوم گری، کاهش قابل توجهی در وزن تر ریشه از خود نشان داد که این امر حساسیت بالای این گونه به کاهش تناوب آبیاری را تأیید می کند.

وزن تر اندام هوایی

نتایج تجزیه و تحلیل آماری برای وزن تر اندام هوایی در گیاهان 'فستوکا بلند' و 'سدوم گری' نشان داد که با تشدید تنش خشکی، وزن تر اندام هوایی روند نزولی خواهد داشت، این کاهش، نسبت به



شکل ۳- مقایسه میانگین وزن تر ریشه در گونه های چمن، سدوم گری و فیلا
Figure 3- Comparison of the mean root fresh weight in tall festuca, goldmoss stonecrop and frogfruit plants
حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی دار ندارند.
Similar letters have no significant difference at 5% probability.



شکل ۴- مقایسه میانگین وزن تر اندام هوایی در گیاهان چمن، سدوم گری و فیلا
Figure 3- Comparison of the mean shoot fresh weight in tall festuca, goldmoss stonecrop and frogfruit plants
حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی دار ندارند.
similar letters have no significant difference at 5% probability.

صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

داشت. در گیاه چمن نیز تنش خشکی بر تمامی صفات به جز کلروفیل a، در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اما برای صفت مورد اشاره این تأثیر در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴، جدول ۵ و جدول ۶).

نتایج تحلیل واریانس داده‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نشان داد که تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده در گیاهان 'سدوم گری' و 'فیلا' تأثیر معنی‌داری

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه چمن

Table 4- Analysis of variance (ANOVA) for mean squares of physiological and biochemical traits in tall fescue grass

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ FW)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)	محتوای نسبی آب RWC (%)
تنش خشکی Drought	3	12.6893**	1.1804*	1119.23**	1326.44**
خطا Error	8	0.7179	0.1692	16.51	6.92

*: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد؛ **: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

*: significant at the 5% of probability level; **: significant at the 1% of probability level.

جدول ۵- جدول تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه سدوم گری

Table 5- Analysis of variance (ANOVA) for mean squares of physiological and biochemical traits in goldmoss stonecrop

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ FW)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)	محتوای نسبی آب RWC (%)
تنش خشکی Drought	3	0.601833**	0.980498**	537.454**	1990.31**
خطا Error	8	0.000535	0.000169	1.335	2.17

*: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

** : significant at the 1% of probability level.

جدول ۶- جدول تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه فیلا

Table 6- Analysis of variance (ANOVA) for mean squares of physiological and biochemical traits in frogfruit

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ FW)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)	محتوای نسبی آب RWC (%)
تنش خشکی Drought	3	8.12091**	13.1997**	830.042**	1242.97**
خطا Error	8	0.00034	0.0001	2.009	20.25

*: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

** : significant at the 1% of probability level.

محتوای نسبی آب

میزان محتوای نسبی آب برگ در کمترین سطح تنش نسبت به حداکثر آن در گیاهان 'فستوکا بلند'، 'سدوم گری' و 'فیلا' به ترتیب ۵۱/۷۲، ۶۲/۱۲ و ۴۹/۶ درصد کاهش یافت (شکل ۵). کاهش محتوای نسبی آب برگ نشان‌دهنده حساسیت گیاه به تنش خشکی است. این شاخص میزان شادابی گیاه و توانایی آن در حفظ آب تحت تنش را نشان می‌دهد؛ مقدار بالاتر آن بیانگر مقاومت بیشتر گیاه در شرایط کم‌آبی است (Abbasszadeh et al., 2008) که در ادامه باعث بسته شدن روزنه‌های برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز

نتایج حاصل از مقایسه میانگین برای این صفت نشان داد که بیشترین محتوای نسبی آب برگ در گیاهان 'فستوکا بلند'، 'سدوم گری' و 'فیلا' مربوط به سطح ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (FC) (80%) بود و بین سطوح اول و دوم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین به‌طور کلی در همه گیاهان با تشدید تنش خشکی، مقدار محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت و کمترین میزان این صفت برای همه گیاهان در بیشترین سطح تنش مشاهده شد، همچنین

کاهش توان عملکردی گیاه می‌گردد (Sadat-Firouznia et al., 2021).

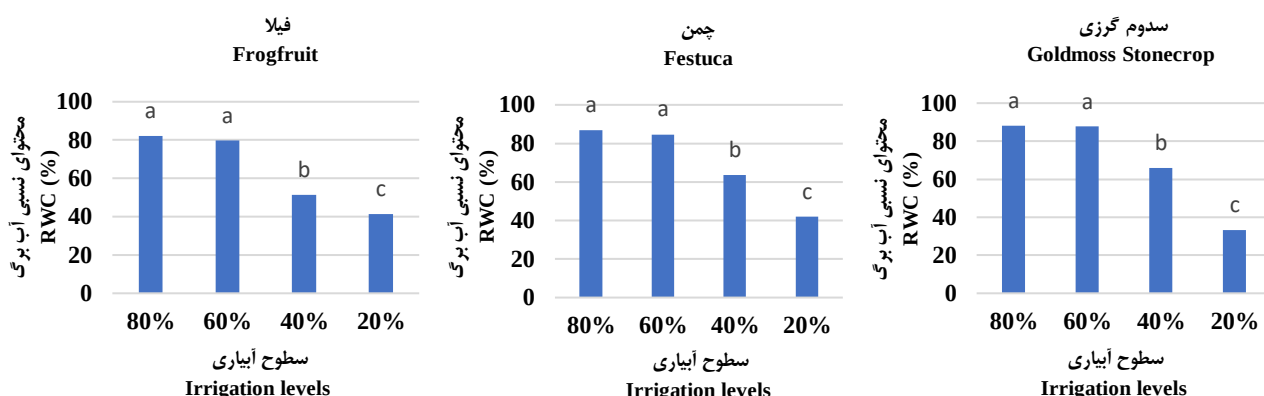
کلروفیل a

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل ۷) نشان داد که در گیاه چمن، بیشترین مقدار این صفت در سطح ۶۰ درصد ظرفیت زراعی با مقدار $11/57 \text{ mg/g FW}$ مشاهده شد و پس از آن، به ترتیب سطوح ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی قرار گرفتند، در حالی که کمترین میزان این صفت در سطح چهارم تنش ۲۰ درصد ظرفیت زراعی (10.21 mg/g FW) ثبت شد و تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. در گونه‌ی سدوم گریزی، سطوح ۶۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب بیشترین مقادیر این صفت را (به ترتیب با میانگین $5.25, 4.96, 4.63$ و 4) نشان دادند (شکل ۷) و تفاوت معنی‌داری در سطوح مختلف با یکدیگر داشتند. در گیاه 'فیلا'، بیشترین میزان کلروفیل a ۲۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و پس از آن، به ترتیب سطوح ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد سوم، دوم و اول قرار داشتند. در برخی گیاهان، کاهش مقدار پیکمان‌های کلروفیل a به عنوان یک سازوکار حفاظت نوری عمل می‌کند. این فرآیند با کاهش جذب نور، به محافظت از زنجیره فتوسنتزی گیاه کمک می‌کند (Salehi Shanjani et al., 2015). میزان کلروفیل در گیاهان زنده، یکی از عوامل کلیدی در حفظ ظرفیت فتوسنتزی است. به نظر می‌رسد که کاهش میزان کلروفیل a در اثر تنش خشکی، ناشی از افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد (Abbaszadeh et al., 2008).

گیاه می‌شود (Kafashzade et al., 2024). بالا بودن محتوای نسبی آب در تنش‌های خشکی می‌تواند بیانگر سازگاری گیاه و جلوگیری از از دست رفتن آب درون برگ‌ها نیز باشد (Heydari et al., 2014). نتایج این پژوهش با نتایج سلاح‌ورزی و همکاران (Salahvarzi et al., 2008) در خصوص چند نوع چمن، کفاح زاده و همکاران (Kafashzade et al., 2024)، بر روی اثر کم‌آبیاری در چند گونه شبدر و الهامی (Elhami, 2016) روی چهار گونه پوششی مطابقت داشت.

نشت الکترولیت

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، با افزایش شدت تنش خشکی، میزان نشت الکترولیت به‌طور معناداری افزایش یافت (شکل ۶). در تمام گونه‌های مورد بررسی، بیشترین میزان نشت الکترولیت در سطح تنش شدید خشکی (۲۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد که به ترتیب برای گیاهان 'فیلا'، 'سدوم گریزی' و 'فستوکا بلند' میانگین آن‌ها عبارت بود از: ۵۷، ۶۲ و ۴۴ درصد. پایداری غشای سلولی به عنوان عامل کلیدی در تحمل به خشکی شناخته می‌شود، شاخص نشت الکترولیت معیاری معتبر از آسیب غشایی است، به‌طوری که افزایش نفوذپذیری غشا منجر به خروج مواد محلول از درون سلول می‌شود (Elhami, 2016)، حفظ عملکردهای حیاتی گیاه از جمله ظرفیت فتوسنتزی و فعالیت‌های متابولیک ضروری برای رشد در شرایط تنش آبی شدید، مستلزم حفظ تمامیت ساختاری و پایداری غشای سلولی است. در نتیجه، تنش خشکی باعث افزایش نشت الکترولیت می‌شود که منجر به افزایش آسیب‌های سلولی و

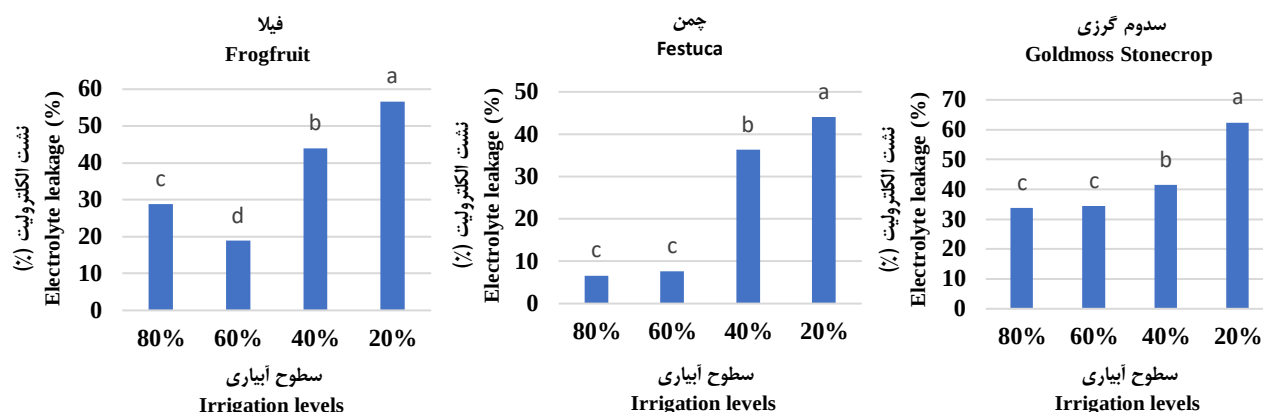


شکل ۵- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب در گیاهان چمن، سدوم گریزی و فیلا

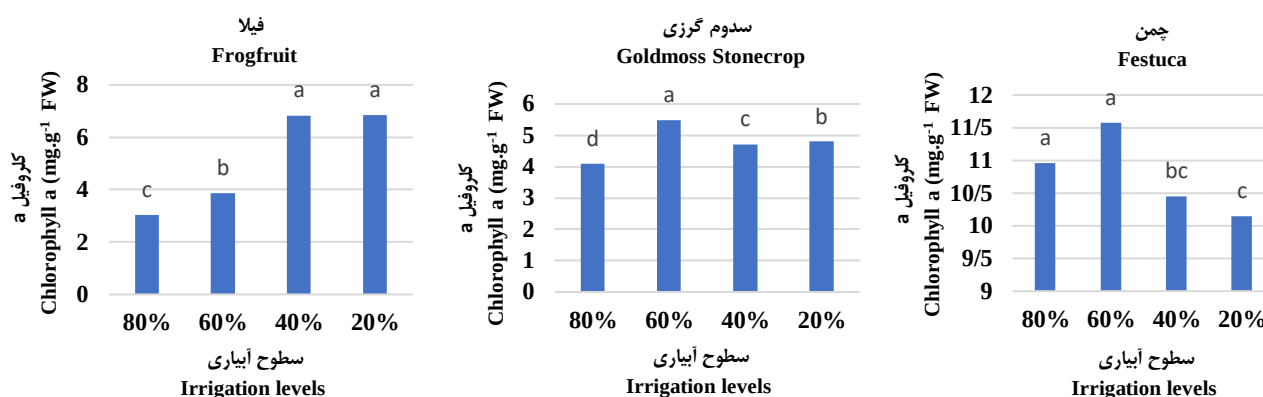
Figure 5- Comparison of the mean RWC in tall festuca, goldmoss stonecrop and frogfruit plants

حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Similar letters have no significant difference at 5% probability.



شکل ۶- مقایسه میانگین نشت الکترولیت در گیاهان چمن، سدوم گریزی و فیلا
 Figure 6- Comparison of the mean EL in tall festuca, goldmoss stonecrop and frogfruit plants
 حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی دار ندارند.
 Similar letters have no significant difference at 5% probability.

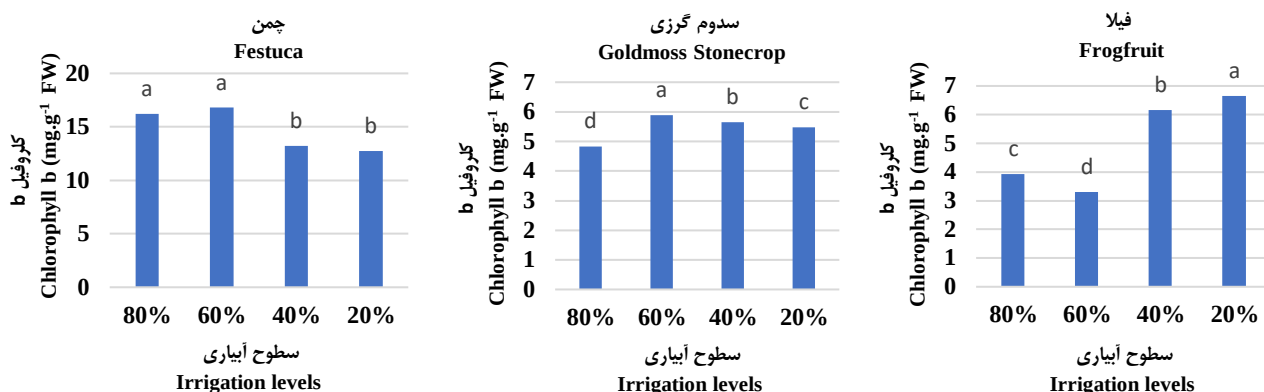


شکل ۷- مقایسه میانگین کلروفیل a در گیاهان چمن، سدوم گریزی و فیلا
 Figure 7- Comparison of the mean chlorophyll a in tall festuca, goldmoss stonecrop and frogfruit plants
 حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی دار ندارند.
 Similar letters have no significant difference at 5% probability.

کلروفیل b

۳/۱۱ و ۳/۹۷ ۶/۸۱ میلی گرم بر گرم وزن تر قرار داشتند (شکل ۸). کاهش میزان کلروفیل در گونه‌های حساس به تنش می‌تواند ناشی از تخریب ساختار ظریف کلروپلاست، تغییر در نسبت چربی به پروتئین رنگیزه‌ها، یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد (Mohammadi, 2013). کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر تنش خشکی معمولاً به دلایلی از جمله کاهش سنتز کمپلکس اصلی کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئینی رنگدانه‌ها و آسیب اکسیداتیو به لیپیدها، رنگدانه‌ها و پروتئین‌های کلروپلاست نسبت داده می‌شود (Fanaei et al., 2011). این فرآیند به عنوان سازوکار "حفاظت نوری" شناخته می‌شود (Salehi Shanjani et al., 2015).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل ۸) نشان داد که در گیاه چمن، بیشترین مقدار این صفت در سطح ۶۰ درصد ظرفیت زراعی با مقدار ۱۶/۷۹ میلی گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد. پس از آن، به ترتیب سطوح ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی قرار گرفتند، درحالی که کمترین میزان این صفت در شدیدترین سطح تنش (۲۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد. گونه 'سدوم گریزی' نیز الگوی مشابهی با گیاه چمن نشان داد، به طوری که بیشترین میزان کلروفیل b در این دو گونه نیز در سطح ۶۰ درصد ظرفیت زراعی ثبت گردید. در مقابل، در گیاه 'فیلا' بیشترین مقدار این صفت در سطح ۲۰ درصد ظرفیت زراعی با مقدار ۶/۶۵ مشاهده شد و پس از آن به ترتیب سطوح ۴۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین



شکل ۸- مقایسه میانگین کلروفیل b در گیاهان: چمن، سدوم گریزی و فیلا
Figure 8- Comparison of the mean Chlorophyll b in tall festuca, goldmoss stonecrop and frogfruit plants

حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی دار ندارند.
Similar letters have no significant difference at 5% probability.

مانند طول ریشه، وزن تر اندامها، محتوای نسبی آب برگ و مقدار کلروفیل کاهش یافت و نشت الکترولیت افزایش پیدا کرد. این پژوهش تأکید می‌کند که انتخاب گونه‌های مقاوم به خشکی مانند 'فیلا'، می‌تواند راهکاری مؤثر برای کاهش مصرف آب و حفظ پایداری فضای سبز شهری در اقلیم‌های خشک باشد. استفاده از چنین گیاهانی به عنوان جایگزین چمن‌های پرمصرف، گامی مؤثر در جهت مدیریت منابع آب محسوب می‌شود، با این حال، برای استفاده گسترده و پایدار از این گونه‌ها در شرایط اقلیمی و آبیاری مختلف، نیاز به مطالعات بیشتر و بررسی‌های تکمیلی وجود دارد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه فردوسی مشهد سپاسگزاری می‌شود.

نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش عباسپور و رضایی (Abbaspour & Rezaii, 2015) و احمدی آذر و همکاران (Ahmadi Azar et al., 2015) روی گیاه پنیرک^۱ نیز مطابقت دارد. در این مطالعات نیز مشاهده شده است که با افزایش شدت تنش خشکی، میزان کلروفیل b کاهش یافت.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج این پژوهش، گونه‌های گیاه پوششی مورد بررسی، واکنش‌های متفاوتی نسبت به تنش خشکی از خود نشان دادند. گونه 'فیلا' (*Phyla nodiflora*) در بیشتر صفات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی عملکرد مناسبی داشت و مقاومت قابل توجهی به شرایط کم‌آبی نشان داد. در مقابل، گونه 'سدوم گریزی' (*Sedum acre*) بیشترین حساسیت را نسبت به تنش نشان داد. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص‌هایی

References

- Abaszadeh Farouji, R., Hatamzadeh, A., Sharifi, A., & Kharrazi, M. (2025). Investigation of seed germination parameters and morphophysiological traits of *Tagetes erecta* (*Tagetes erecta* Antigua orange) in response to different LED light qualities. *Journal of Horticultural Science*, 39(1), 155-172. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89366.1370>
- Abbaspour, H., & Rezaii, H. (2015). Effects of gibberellic acid on Hill reaction, photosynthetic pigment and phenolic compounds in Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in different drought stress levels. *Journal of Plant Research*, 27(5), 893-903. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1393.27.5.13.9>
- Abbaszadeh, B., Sharifi Ashourabadi, E., Lebaschi, M., Naderi hajibagher Kandy, M. and Moghadami, F. (2008). The effect of drought stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and relative water contents of balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 23(4), 504-513. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2008.10090>
- Ahmadi Azar, F., Hassanlou, T., Imani, A., & Fayzi Asl, V. (2015). Water stress and mineral zeolite application on growth and some physiological characteristics of mallow (*Malva sylvestris*). *Plant Research Journal (Iranian Journal of Biology)*, 3(28), 459-474. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1394.28.3.1.0>

1- *Mesembryanthemum cordifolium*

5. Askari, M., Behdani, M., Parsa, S., Jami Alahmadi, M., & Mahmoudi, S. (2017). Effects of water stress and manure on stomatal conductance, relative water content, photosynthetic pigments and quantitative and qualitative yield of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33(5), 793–811. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.110349.2008>
6. Azadifar, A., Zare Abyaneh, H., Sarikhani, H., & Mosadeghi, M. (2024). Broccoli response to application of natural nanobiochar amendment, deficit irrigation and nitrogen fertigation. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 30(4), 29–56. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jwsc.2023.21265.3661>
7. Blanco-Canqui, H., Shaver, T. M., Lindquist, J. L., Charles, A., Shapiro, R. W., Elmore, C., Francis, A., & Hergert, G. W. (2015). Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal*, 107(6), 449–2474. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0086>
8. Ebrahimian, M., & Kazemi, F. (2017). Approaches to expanding the concept of xeriscaping in urban parks. The 3rd International Conference on Architecture, Civil Engineering and Urban Planning in the Beginning of the Third Millennium, Tehran, Iran. (In Persian).
9. Eidi, A., Kazemieh, F., & Zarifian, Sh. (2021). Identification of factors affecting sustainable management of agricultural water resources from the farmers' perspective (Case study: Wheat farmers in the villages of Maragheh County). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2), 361–375. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/saps.2020.12319>
10. Elhami, H. (2016). Investigation of the effects of drought stress on yield and quantitative and qualitative traits of four groundcover species with potential for use in green spaces of Mashhad. MSc. Thesis, Department of Horticultural Sciences and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
11. Esmaeili, S., Salehi, H., & Khosh-Khui, M. (2017). Seasonal changes in some physiological and biochemical responses of six groundcover plants. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 4(1), 105–116. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2018.216412.151>
12. Ezzati, R., Torchi, M., Moghaddam Vahid, M., & Rostaei, M. (2024). Effect of drought stress on morphological and biochemical traits of roots and seed yield in wheat cultivars and promising lines (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 26(2), 129–147. (In Persian).
13. Fanaei, H., Galavi, M., Kafi, M., Ghanbari Benjar, A., & Shirani Rad, A. (2011). Effect of drought stress and different potassium levels on osmolyte accumulation and chlorophyll content in two species of rapeseed and Indian mustard. *Soil and Water Sciences*, 15(57), 141–156. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763594.1390.15.57.20.2>
14. Ferrini, F., Fini, A., Frangi, P., & Amoroso, G. (2008). Mulching of ornamental trees: Effects on growth and physiology. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(3), 157–162. <https://doi.org/10.48044/jauf.2008.021>
15. Gazanchian, A., Khosh Kholgh Sima, N. A., Malboobi, M. A., & Majidi Heravan, E. (2006). Relationships between emergence and soil water content for perennial coolseason grasses native to Iran. *Crop Science*, 46, 544–553. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.04-0357>
16. Ghorbani, M., Mortazavi, S. N., & Arghavani, M. (2022). Morphophysiological evaluation of gold moss stonecrop (*Sedum acre* L.) under salicylic acid treatment in water deficit. *Clinical Cancer Investigation Journal*, 11(1-2022), 1–10.
17. Ghorbani, Z. (2021). The effect of different levels of fulvic acid on physiological and morphological traits of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) under drought stress conditions. MSc. Thesis, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
18. Gupta, A., Rico-Medina, A., & Caño-Delgado, A. I. (2020). The physiology of plant responses to drought. *Science*, 17, 266–269. <https://doi.org/10.1126/science.aaz7614>
19. Harper, S., Wright, C., Masina, S., & Coggins, S. (2020). Climate change, water, and human health research in the Arctic. *Water Security*, 10, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100062>
20. Hatami Nejad, H., & Omranzadeh, B. (2010). Study, evaluation, and proposal of urban green space per capita: A case study of Mashhad metropolitan area. *Geography*, 8(25), 67–85. (In Persian).
21. Heydari, N., Pouryousef, M., & Tavakoli, Y. (2014). Effect of drought stress on photosynthesis, related parameters, and relative water content in (*Pimpinella anisum* L.) plant. *Research Journal (Iranian Journal of Biology)*, 27(5), 829–839. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1393.27.5.7.3>
22. Kafashzade, Z., Nabavi Kalat, S., Abbasi, M., & Soohani Darban, A. (2024). Effects of deficit irrigation on relative water content, proline concentration, antioxidant enzyme activity, chlorophyll concentration, and forage yield of five clover species (*Trifolium* spp). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(7), 1158–1197. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.370250.669628>

23. Karimian, Z. (2019). The conflict between landscape aesthetic preferences and sustainable green space in arid regions. *Flowers and Ornamental Plants*, 4(1), 1–12. (In Persian).
24. Li, X., Ingvordsen, C. H., Weiss, M., Rebetzke, G. J., Condon, A. G., James, R. A., & Richards, R. A. (2019). Deeper roots are associated with cooler canopies, a higher normalized difference vegetation index, and greater yield in three wheat populations grown on stored soil water. *Journal of Experimental Botany*, 70(18), 4963–4974. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz232>
25. Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 1(48), 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
26. Linares, J., Scholberg, J. M. S., Chase, C., Mcsorely, R., & Ferguson, J. (2008). Evaluation of annual warmseason cover crops for weed management in organic citrus. Proceedings of 16th IFOAM Organic Congress, 16-20 June, Modena, Italy.
27. Mirzaei Hassanlou, A., Erfaniyan, M., Javan, K., & Najafi, M. (2024). Trend analysis of extreme precipitation indices in Iran based on multiple regression model. *Environmental and Water Engineering*, 10(4), 541–557. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/ewe.2024.441177.1912>
28. Mohammadi, M. (2013). The effect of silicon and salicylic acid on some physiological, biochemical, morphological, and quality traits of grass. MSc. Thesis, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
29. Mousavi Bazzaz, A. (2015). Evaluation of salinity stress tolerance in native tall fescue (*Festuca arundinacea*) populations for potential use in green spaces. PhD Dissertation, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
30. Noor, M., Fan, J., Kaleem, M., Kaleem, M., Tanveer Akhtar, M., Jin, Sh., Nazir, U., Zhang, Ch., & Yan, X. (2024). Assessment of the changes in growth, photosynthetic traits and gene expression in *Cynodon dactylon* against drought stress. *BMC Plant Biol*, 24, 235. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04896-x>
31. Sadat-Firzani, M., Khazaei, H., & Gozanchian, A. (2021). Improvement of drought tolerance using municipal waste compost in native tall fescue grass. *Horticultural Science*, 35(2), 253–266. (In Persian).
32. Salahvarzi, Y., Tehranifar, A., & Gazanchian, A. (2008). Investigating the physiomorphological changes of native and exotic turfgrasses under drought stress and re-watering. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 9(3), 193–204.
33. Salehi Shanjani, P., Izadpanah, F., Ramazani Yeganeh, R., Rasoulzadeh, S., & Esmaeil, S. (2015). Comparison of drought stress effects on osmotic regulation, peroxidase, polyphenol oxidase, and pigments in different seed samples of false chamomile and yellow chamomile (*Anthemis tinctoria* and *Tripleurospermum servanes*) from the Gene Bank of Iranian Natural Resources. *Plant Research Journal (Iranian Journal of Biology)*, 28(1), 126–139. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1394.28.1.12.7>
34. Samieiani, A., Ansari, H., Azizi, M., Hashemnia, M., & Salahvarzi, Y. (2013). Effect of drought stress on some biochemical indices in four groundcover species (*Lolium perenne*, *Potentilla*, *Trifolium repens*, and *Frankenia*) with potential for use in green spaces. *Journal of Greenhouse Crop Science and Technology*, 4(15), 101–109. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089082.1392.4.3.9.8>
35. Shiravand, D. (2012). Landscape Design and Green Space with Ornamental Trees and Shrubs (2nd ed.). Agricultural Training and Promotion Publishing. Iran, 600 p. (In Persian).
36. Shirinzadeh, N., Biglouei, M., Akhavan, K., & Mohammadi, A. (2022). Effects of deficit irrigation and irrigation method on water productivity, yield, and yield components of wheat. *Crop Production (Pardis Aburaihan Journal of Agriculture)*, 24(2), 283–296. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2021.309207.2444>
37. Shushtarian, S., Salehi, H., & Tehrani Far, A. (2011). Study of growth and development features of ten ground cover plants in Kish Island green space in warm season. *Agricultural Ecology*, 3(4), 514–524. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jag.v3i4.14909>
38. Talebi, K. (2012). Grass Planting and Maintenance Management (1st ed.). Municipalities and Rural Districts Organization Publishing. Iran, 131 p. (In Persian).
39. Vahdati, N., Tehrani Far, A., & Kazemi, F. (2015). Investigation of the effect of species diversity and different irrigation regimes on the selection of suitable planting designs in the cold and warm seasons in Mashhad. The 9th Iranian Horticultural Sciences Congress, Ahvaz, Iran. (In Persian).
40. Willson, D., & Slocum, G. (2017). Understand cover crops, benefits and selection. <https://kingsagriseeds.com/>.
41. Yang, W., Li, N., Fan, Y., Dong, B., Song, Z., Cao, H., Du, T., Liu, T., Qi, M., Niu, L., Meng, D., Yang, Q., & Fu, Y. (2021). Transcriptome analysis reveals abscisic acid enhancing drought resistance by regulating genes related to flavonoid metabolism in pigeon pea. *Environmental and Experimental Botany*, 191, 104627. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104627>