

The Impact of Irrigation and Cow Manure on Morphological Characteristics, Yield, and Components of Shirazi thyme (*Zataria multiflora* Bioss.) in Mashhad

M. Shemshadi¹, M. Parsa^{1*}, P. Rezvani Moghaddam¹, S. Khorramdel¹

1- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

Received: 02 July 2024
Revised: 12 October 2024
Accepted: 06 November 2024
Available Online: 11 March 2025

How to cite this article:

Shemshadi, M., Parsa, M., Rezvani Moghaddam, P., & Khorramdel, S. (2025). The Impact of Irrigation and Cow Manure on Morphological Characteristics, Yield, and Components of Shirazi thyme (*Zataria multiflora* Bioss.) in Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(2), 1-20. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88747.1337>

Introduction

Competition for water resources is a critical challenge globally and in Iran, exacerbated by climate change threats. Medicinal plants, such as *Zataria multiflora* (Shirazi thyme), represent vast divine potential and, with proper planning, can play a special role in the non-oil economy. This species, native to rocky habitats, possesses limited global distribution and significant antibacterial, antifungal, and therapeutic properties, including proven anti-stress effects. Meanwhile, the application of cow manure as a biological fertilizer enhances soil porosity and organic matter. This improvement leads to better soil fertility, physical and chemical properties, and water retention capacity, thereby facilitating root expansion and the absorption of water and nutrients. Consequently, this results in improved growth and yield. The objective of this study was to investigate the effects of irrigation levels and cow manure on the growth and canopy production of Shirazi thyme under field conditions in Mashhad.

Materials and Methods

The experiment was conducted in the research fields of Ferdowsi University of Mashhad during the 2020-2021 growing season. A factorial experiment was designed within a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The treatments included three irrigation levels (3000, 2100, and 3900 cubic meters per hectare) and four cow manure levels (41.76, 52.2, 62.64 tons per hectare, and a control with no manure). Key morphological traits and yield components were measured, including plant height, leaf area index (LAI), and biomass.

Results and Discussion

Reducing irrigation volume had a negative impact on the morphological characteristics of Shirazi thyme, such that the number of lateral branches, plant and stem height, leaf area index, major and minor diameters, weight (plant, leaf, stem, and flower), and total yield decreased. One of the probable effects of drought stress on plant dry weight can be attributed to the reduction in leaf area due to physiological factors occurring within the plant. In this experiment, the treatment of 2,100 cubic meters per hectare reduced leaf area by 47% compared to the treatment of 3,000 cubic meters per hectare. In this regard, it is likely that the reduction in photosynthesizing surface area and the consequent decrease in photosynthates led to a reduction in leaf weight. Furthermore, with the reduced allocation of photosynthates to the stem—which serves as the structural support for the aerial parts of the plant—its weight also decreased, consequently leading to a reduction in plant height. As a result, aerial



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/jcesc.2024.88747.1337>

growth was restricted, the canopy diameter and number of lateral branches diminished, and the plant ultimately suffered from growth retardation and a reduction in dry weight. Cow manure application notably enhanced the lower canopy diameter and the wet and dry weight of flowers. For example, the irrigation treatment at a rate of 3,900 cubic meters per hectare yielded the highest flower dry weight compared to other levels of manure application at 12 grams per square meter; this amount represented a 100% increase compared to the control. No significant interaction between irrigation and manure treatments was observed on most traits, suggesting independent effects of each factor.

Conclusion

Both irrigation and cow manure significantly impact the growth and yield of Shirazi thyme. Adequate irrigation is essential for maintaining high biomass and essential oil production, while cow manure improves soil fertility and plant health. These findings highlight the importance of integrated water and nutrient management for optimizing medicinal plant cultivation in arid regions. For farmers in similar climatic conditions, a balanced approach to irrigation and organic fertilization is recommended to maximize yield and maintain soil health. Future research should explore the long-term effects of these practices on soil properties and plant health, contributing to more sustainable and productive agricultural systems.

Keywords: Irrigation management, Leaf area index (LAI), Medicinal plants, Morphological traits, Vegetative growth

مقاله پژوهشی

جلد ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۱-۲۰

بررسی اثر تیمارهای آبیاری و تغذیه کود دامی بر خصوصیات ریخت‌شناختی، عملکرد و اجزای عملکرد آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Bioss.) در اقلیم مشهد

مصطفی شمشادی^۱، مهدی پارسا^{۱*}، پرویز رضوانی مقدم^۱، سرور خرم دل^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۶

چکیده

آویشن شیرازی با نام علمی (*Zataria multiflora* Bioss.) گونه‌ای دارویی است که از پراکندگی محدود در جهان برخوردار می‌باشد. با توجه به شرایط سخت رشدی و تولید آن در شکاف و دامنه‌های سنگلاخی به نظر می‌رسد که این گیاه متحمل و سازگار با شرایط سخت و پرتنش از جمله تنش خشکی باشد. از آنجاکه بحران آب در ایران بسیار جدی است و تهدیدکننده بسیاری از گیاهان زراعی است، لذا در این شرایط کاشت آویشن شیرازی به عنوان یک گیاه دارویی اقتصادی و چندساله که در معرض آسیب برداشت بی‌رویه نیز قرار دارد، می‌تواند راهکاری امیدبخش باشد. در این ارتباط، این آزمایش با هدف بررسی اثر آبیاری و کود دامی بر رشد و عملکرد گیاه آویشن شیرازی در مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۴۰۰ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح مختلف کود دامی شامل ۴۱، ۵۲، ۶۲ تن در هکتار و شاهد (بدون کود) و همچنین سطوح آبیاری شامل ۲۱۰۰، ۳۰۰۰ و ۳۹۰۰ مترمکعب در هکتار بودند، یافته‌های تجزیه آماری نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار آبیاری بر صفات ریخت‌شناختی این گیاه بودند، با کاهش حجم آبیاری شاخص سطح برگ (۴۷ درصد)، ارتفاع ساقه و بوته (۲۶ درصد)، قطر بزرگ و کوچک، تعداد شاخه جانبی، وزن (بوته، برگ، ساقه و گل) و همچنین عملکرد کل (۴۱ درصد) کاهش پیدا کرد، کود دامی نیز روی صفات قطر بزرگ پایین بوته و وزن گل تأثیرگذار بود و با افزایش کود افزایش یافت. براساس نتایج کلی، حجم آبیاری پایین باعث ایجاد محدودیت، عقب‌ماندگی، کاهش رشد و در نهایت کاهش وزن خشک می‌شود، لذا حجم‌های بالاتر آبیاری برای بهبود رشد توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رشد رویشی گیاه، شاخص سطح برگ، صفات مورفولوژیکی، گیاهان دارویی، مدیریت آبیاری

مقدمه

در این میان، خاورمیانه در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک واقع شده و منابع آب محدودی دارد. ایران نیز با داشتن یک سوم متوسط بارندگی جهان، از این قاعده مستثنی نبوده و در اثر تغییر اقلیم دچار خشکسالی شده است (Khosravi, Akbarpor, Bahmaniar, & Andi, 2023; Miri Shahidi, Siouki, & Rouhian, 2022). کاهش نزولات جوی، برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و گرم شدن روز افزون کره خاکی، موجب کاهش بسیار شدید منابع آب زیرزمینی و فرونشست دشت‌ها در اغلب مناطق کشور شده است (Saatsaz, 2020). با توجه به این، نه آب را می‌توان به هر مقدار مصرف کرد و نه هر زراعتی را برای تهیه غذا انجام داد، گیاهان دارویی برخلاف گیاهان زراعی رایج، در طول تاریخ تکاملی خود، سازگاری‌های لازم را با تنش آب و دیگر نهادهای کشاورزی پیدا کرده‌اند (Koocheki & Khajah-Hosseini, 2017).

گیاهان دارویی از منابع بالقوه و عظیم الهی می‌باشد که با

در حال حاضر، کشاورزی تکیه‌گاه حیات اقتصادی و امنیت غذایی جهان است (Pawlak & Kołodziejczak, 2020). بحران آب یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های جهان امروز می‌باشد (Rosa, Chiarelli, 2020). کم‌آبی، عملکرد گیاهان زراعی را در ۲۵ درصد از زمین‌های زراعی جهان کاهش می‌دهد (Fakhri, Sayfzadeh, Sarajooghi, Valadabadi, & Masouleh, 2023). یکی از چالش‌های مهم در جهان و ایران، رقابت برای دسترسی به منابع آب می‌باشد و در این بین، تغییر اقلیم از جمله چالش‌هایی است که آینده جهان را با تهدید مواجه نموده است.

۱- گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

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

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88747.1337>

پارگی، درد مفاصل، سردرد و اسهال استفاده می‌شود و همچنین اثر ضداسترس این گیاه در موش نیز به اثبات رسیده است (Meamari, Yavari, & Bikdeloo, 2020; Safaai et al., 2023; Sasanihoma et al., 2012; Yavari, Nazeri, Sefidkon, & Hassani, 2010).

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سرتاسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی زیستی می‌باشد که می‌تواند رشد، عملکرد و محصول دهی گیاهان را محدود کند (Ashrafi et al., 2022; Babaee, Dehaghi, Sanavi, & Jabbari, 2010). در مجموع، تنش خشکی از طریق کاهش تورژانس سلولی، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش سطح برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش سنتز آب‌گیری کلروپلاست و دیگر بخش‌های پروتوپلاسم، کاهش سنتز کلروفیل و پروتئین سبب تقلیل فرآیند فتوسنتز و مواد فتوسنتزی می‌گردد که نتیجه تأثیر نهایی آن سبب کاهش ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد گل‌ها، محتوای رطوبت نسبی، شاخص پایداری غشاء، کمیت و کیفیت عملکرد می‌شود (Moshrefi-Araghi et al., 2023). در کشاورزی اکولوژیک، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها کمتر استفاده می‌شوند، در نتیجه گیاهان تولیدی برای انسان و محیط زیست سالم‌تر هستند (da Cunha Honorato et al., 2024). مصرف فشرده و شدید کودهای شیمیایی باعث تخریب و تأثیر بر جانداران (ارگانیسم‌های) غیرهدف، تغییر یافتن نظام‌های زیستی و تأثیر گذاشتن بر ریزجانداران خاک می‌شود (Rahimi et al., 2023). کودهای آلی منبعی از مواد آلی در دسترس طبیعی هستند که مقدار متوسطی از عناصر غذایی مهم و ضروری برای تغذیه گیاهان را دارند (Vaičiulytė, Ložienė, & Sivicka, 2022). کودهای دامی (به‌عنوان کودی آلی) باعث افزایش درصد خلل‌وفرج خاک از طریق افزایش مواد آلی خاک می‌شوند، که این امر سبب افزایش حاصلخیزی و باروری خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش قدرت نگهداری آب توسط خاک و در نهایت رشد، توسعه و گسترش بیشتر ریشه گیاه در خاک شده و جذب آب و مواد غذایی در گیاهان را بهبود می‌بخشد که این موضوع در نهایت باعث بهبود وضعیت رشدی و عملکردی گیاهان می‌شود (Askary, Behdani, Parsa, Ahmadi, & Mahmoodi, 2019; Walia et al., 2023).

هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر مقدار آبیاری و کود دامی بر رشد و تولید شاخساره و عملکرد گیاه آویشن شیرازی در شرایط اقلیمی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

برای تعیین اثرات سطوح آبیاری و تغذیه کود دامی بر خصوصیات رشدی و ریخت‌شناختی گیاه آویشن شیرازی، آزمایشی در سال زراعی

توجهات خاص و برنامه‌ریزی صحیح می‌تواند در موارد دارویی و درمانی و صنایع دیگر، به‌ویژه در زمینه اقتصاد بدون اتکا به نفت از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد (Mohammadi, Karim, Dahmardeh, & Ghasemi, 2021). امروزه، مشخص شدن عوارض جانبی داروهای شیمیایی و عوارض کم داروهای گیاهی و بی‌ضرر بودن آن‌ها موجب ترغیب و توجه به کشت این گیاهان در کشورهای توسعه‌یافته شده است (Riaz et al., 2021). همچنین مشکلاتی مانند چرای بی‌رویه دام و بهره‌برداری بی‌رویه گیاهان دارویی در عرصه‌های طبیعی سبب تبدیل آن‌ها به دیم‌زارهای کم‌بازده و بایر می‌شود. در پاسخ به این چالش، کشت گیاهان دارویی چندساله می‌تواند مناسب‌تر از گیاهان یک‌ساله باشد، چرا که با ایجاد پوشش دائمی بر سطح خاک در جلوگیری از تبخیر آب، سیلاب، فرسایش و افزایش ماده آلی خاک و ذخیره آب بیشتر بر اثر نیاز به شخم کمتر در عرصه‌های شیب‌دار و غیره، می‌تواند تحولی در حفظ و احیای نظام‌های زراعی ایجاد کند (Chubeigi, 2013; Khairi & Tori, 2014; Lebaschi, Ashoorabadi, Tafti, & Asadi-Sanam, 2018).

آویشن گیاه دارویی چندساله می‌باشد. نام آویشن به گروهی از گیاهان تیره نعناعیان (Lamiaceae) که به سه جنس *Thymus*، *Zataria* و *Ziziphora* تعلق دارند، اطلاق می‌شود (Pourhosseini et al., 2020). آویشن شیرازی با نام علمی *Zataria multiflora* Bioss. گونه‌ای دارویی در شکاف صخره‌ها و دامنه‌های سنگلاخی است که از پراکندگی محدود در جهان برخوردار بوده و رویش آن منحصراً در ایران، افغانستان و پاکستان می‌باشد (Safaai, Ashoorabadi, & Aminazarm, 2023). اندام‌های دارویی این گیاه شامل برگ‌ها و گل‌های آن بوده که مهم‌ترین ترکیبات اسانس آن شامل تیمول و کارواکرول است که به‌ترتیب از ۳ تا ۶۰ درصد اسانس و ۱۵ تا ۵۰ درصد از اسانس را تشکیل می‌دهند، ترکیبات دیگر شامل لینالول، سیمن، تیمن و آلفا پینن هستند (Ahadi, Aliahmadi, & Mirjalili, 2020). آویشن شیرازی از گیاهان دولپه و دگرگشن است که ظاهری بوته‌ای یا درختچه‌ای کوچک به ارتفاع ۲۵ تا ۱۰۰ سانتی‌متر، ساقه‌های متعدد و محکم به رنگ خاکستری گاه‌آ متماایل به سفید و گاه‌آ کرکدار، برگ‌های کوچک در قاعده قلبی شکل در انتها مدور، گل‌های کوچک و ریز، مجتمع در گرزن‌های کوچک به‌صورت سنبله انتهایی و میوه آن فندقه می‌باشد (Naseri, Ahmadipour, & Meteor, 2023; Sasanihoma, Gholami, & Sefidkan & Naderi, 2021). آویشن شیرازی دارای خواص ضدباکتریایی و ضدقارچی بوده و برای درمان آسم و سرفه‌های ناشی از سرماخوردگی و برونشیت و گلودرد، اختلالات دستگاه گوارش، ضدعفونی‌کننده معده و مجاری ادراری، تب، درد زودرس زایمان، قاعده‌آور و تسکین‌دهنده دردهای قاعدگی، افسردگی،

سطح کود دامی شامل ۴۱/۷۶ تن در هکتار (M_1)، ۵۲/۲ تن در هکتار (M_2)، ۶۲/۶۴ تن در هکتار (M_3) و شاهد بدون اضافه کردن کود دامی (M_0) بودند.

قبل از آماده‌سازی زمین برای کشت، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری زمین محل آزمایش به‌روش سیستماتیک قطری به‌وسیله اوگر جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد (جدول ۱).

۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا صورت گرفت. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد و تیمارهای آن شامل:

سه سطح آبیاری شامل ۲۱۰۰ مترمکعب در هکتار (W_1)، ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار (W_2) و ۳۹۰۰ مترمکعب در هکتار (W_3) و چهار

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)

Table 1- Physical and chemical properties of the soil (0-30 cm depth)

ویژگی	واحد	مقدار	ویژگی	واحد	مقدار
Characteristics	Unit	Amount	Characteristics	Unit	Amount
شن	%	33	اشباع خاک	%	32.636
Sand			SP		
سیلت	%	49	مواد خنثی‌شونده - آهک	%	13.635
Silt			TNV		
رس	%	18	نیتروژن کل	mg kg ⁻¹	0.078
Clay			Total N		
کربن آلی	%	0.857	فسفر قابل جذب	mg kg ⁻¹	13.80
Organic C			Available P		
قابلیت هدایت الکتریکی	dS m ⁻¹	2.795	پتاسیم قابل جذب	mg kg ⁻¹	230
EC			Available K		
شاخص واکنش	---	7.17	بافت	---	لوم سیلتی
pH			Texture		Silty loam

SP و TNV به ترتیب معادل: Saturation Percentage و Total Neutralizing Value می‌باشند.

SP and TNV are equivalent to Saturation Percentage and Total Neutralizing Value, respectively.

خرداد ماه صورت گرفت و یک هفته بعد از آن نیز گیاهان خشک‌شده واکاری شدند. تیمارهای آبیاری بعد از استقرار کامل گیاهان در مزرعه به‌وسیله کنتور حجمی با دقت ۰/۰۰۰۱ لیتر و با استفاده از شیرهای کنترل برای هر کرت توسط سیستم آبیاری قطره‌ای اعمال شدند. در طول فصل رشد گیاه، مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و به دفعات زیاد و به‌میزان هر ۱۰ روز یک‌بار انجام شد. صفات ریخت‌شناختی شامل تعداد شاخه جانبی، ارتفاع بوته، ارتفاع ساقه، سطح برگ، قطر بزرگ و کوچک بالا و پایین تاج‌پوشش، وزن تر برگ، گل و ساقه و وزن آون خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از رسیدن بوته‌ها به مرحله اوایل گل‌دهی (باز شدن ۱۰ درصد از گل‌ها) نمونه‌گیری برای تعیین اجزای عملکرد به‌روش سیستماتیک تصادفی و با حذف دو ردیف کناری به‌عنوان اثرهای حاشیه‌ای در هر کرت صورت گرفت.

در این آزمایش، هر بلوک شامل ۱۲ کرت و هر کرت شامل شش خط کشت بود که فاصله بین ردیف‌ها ۵۵ سانتی‌متر و فاصله‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، همچنین فاصله بین هر کرت برای عدم اثرگذاری تیمارهای آبیاری بر کرت مجاور یک متر و فاصله بین بلوک‌ها از هم دو متر در نظر گرفته شد. بذور این گیاه از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شد و نشاهای آن در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تولید گردید. تیمارهای کود دامی پس از آماده‌سازی زمین به‌صورت نواری با فاصله چهار سانتی‌متر از نشاء در طرفین محل کشت نشاء در عمق ۱۰ سانتی‌متری کاشته شدند. همچنین از شش قسمت از توده کود دامی مورد استفاده که از نوع کود گاوی پوسیده بود، نمونه‌برداری انجام شد و برای انجام آنالیز فیزیکی و شیمیایی از مخلوط یک کیلویی آن استفاده گردید (جدول ۲).

کشت نشاء به‌دلیل مصونیت از خطر تگرگ‌زدگی در اواسط

جدول ۲- تجزیه فیزیکی و شیمیایی کود دامی مورد استفاده
Table 2- Physical and chemical analysis of cow manure

ویژگی Characteristics							
ماده آلی Organic material (%)	کربن آلی Organic C (%)	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	شاخص واکنش pH	پتاسیم محلول Soluble K ₂ O (%)	فسفر کل Total P ₂ O ₅ (%)	فسفر محلول Soluble P ₂ O ₅ (%)	نیترژن کل Total N (%)
35.150	20.420	11.46	7.40	2.109	2.000	1.250	2.100
مقدار Amount							

ثبت شدند و سپس با توجه به هدف کار، و با استفاده از الگوریتم نویسی در نرم افزار Matlab R 2019 داده ها مرتب شدند و همچنین تست نرمال بودن داده ها انجام شد. سپس توسط نرم افزار SAS Pro 17.0.0 تجزیه و تحلیل داده ها براساس طرح آماری مورد استفاده انجام شد، بدین منظور، ابتدا تجزیه واریانس و سپس مقایسات میانگین به روش حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت. رسم نمودارها و گرفتن خروجی نیز توسط نرم افزارهای Excel و همچنین Matlab انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اعمال دو تیمار آبیاری و کود دامی روی برخی صفات اندازه گیری شده اثر معنی داری داشتند، ولی در مقابل، اثر متقابل این دو تیمار بر هیچ یک از صفات مورد مطالعه در هیچ سطحی معنی دار نشد. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که اثر ساده تیمار آبیاری بر همه صفات آزمایشی در سطح یک درصد معنی دار شد که این یافته نشان دهنده تأثیر بسیار زیاد آبیاری بر صفات ریخت شناختی این گیاه در سال اول رشدی می باشد و در ادامه اثر ساده تیمار کود دامی فقط بر صفات قطر بزرگ پایین بوته و وزن تر و آون خشک گل در سطوح مختلف آماری معنی دار گردید (جدول ۳ و ۴).

شاخص سطح برگ

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده ها نشان داد که تأثیر ساده آبیاری بر شاخص سطح برگ معنی دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۳). کمترین مقدار این صفت (0.34) در تیمار W_1 مشاهده شد و این تیمار نسبت به تیمار W_2 دچار کاهش ۴۷ درصدی شده است. شاخص سطح برگ در تیمارهای W_2 و W_3 در یک سطح می باشد و از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارند (شکل ۱).

قبل از بریدن گیاهان، ارتفاع بوته و ساقه توسط متر به ترتیب به صورت اندازه گیری از طوقه تا محلی که حداکثر شاخه ها وجود دارند (ارتفاع بوته) و اندازه گیری طول بلندترین شاخه گیاه (ارتفاع ساقه) انجام شد. برای اندازه گیری قطر تاج پوشش، ابتدا قطر بزرگ و کوچک بالای سطح تاج پوشش با متر و خط کش اندازه گیری و پس از آن، همین کار برای اندازه قطر کوچک و بزرگ پایین تاج پوشش از ارتفاع پنج سانتی متری بالای طوقه انجام شد. سپس گیاهان برای ادامه اندازه گیری ها از ارتفاع هفت سانتی متری برش داده شدند و بعد از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا وزن تر بوته با ترازویی با دقت (0.001) گرم ثبت شد، و بعد از آن، برگ، گل و ساقه به دقت از هم جدا شدند و وزن آن ها با ترازو ثبت شد، بلافاصله سطح برگ های جدا شده توسط دستگاه LI-3100C Area Meter ساخت کشور آمریکا، اندازه گیری شد و سپس به صورت جدا در پاکت های کاغذی قرار داده شدند و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و مجدداً با ترازوی دیجیتال با دقت (0.001) گرم وزن آون خشک آن ها برآورد گردید. برای عملکرد کل نیز نصف بوته های هر کرت از ارتفاع هفت سانتی متری برداشت شدند و در انبار در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به مدت یک هفته خشک گردیدند، سپس وزن آن با ترازوی دیجیتال با دقت (0.001) گرم ثبت شد، در ادامه وزن آون خشک آن ها نیز مطابق روش قبلی اندازه گیری گردید. وزن آون خشک بوته از طریق حاصل جمع وزن آون خشک برگ، گل و ساقه محاسبه شد و همچنین شاخص سطح برگ با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$LAI \text{ (Leaf area index) شاخص سطح برگ} \\ LAI = \frac{LA \text{ (cm}^2\text{)}}{GA \text{ (cm}^2\text{)}} \quad (1)$$

که در آن، LA: مساحت برگ و GA: مساحت زمین سایه انداز می باشد.

در نهایت، کلیه داده های حاصل از آزمایش در نرم افزار Excel

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری و کود دامی بر شاخص‌های رشد بوته آویشن شیرازی
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of irrigation and manure on growth parameters of *Zataria multiflora* Bioss.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of lateral branches	شاخص سطح برگ Leaf area index	ارتفاع بوته Bush height	قطر کوچک بالا Small top diameter	قطر بزرگ بالا Large top diameter	ارتفاع ساقه Stem height	قطر کوچک پایین Small bottom diameter	قطر بزرگ پایین Large bottom diameter
بلوک Block	2	13.85 [*]	0.045 ^{ns}	22.7 ^{ns}	32.63 ^{ns}	34.98 ^{ns}	46.2 ^{ns}	1.51 ^{ns}	0.57 ^{ns}
آبیاری Irrigation	2	132.42 ^{**}	0.342 ^{**}	300 ^{**}	612.23 ^{**}	233.21 ^{**}	571 ^{**}	6.35 [*]	8.50 ^{**}
کود دامی Manure	3	2.78 ^{ns}	0.03 ^{ns}	26.2 ^{ns}	20.75 ^{ns}	10.81 ^{ns}	29.4 ^{ns}	4.23 ^{ns}	3.57 [*]
اثر متقابل I × M	6	3.09 ^{ns}	0.012 ^{ns}	20.2 ^{ns}	18.43 ^{ns}	22.35 ^{ns}	23.7 ^{ns}	1.34 ^{ns}	0.71 ^{ns}
باقی‌مانده Residual	22	3.19	0.02	22.92	25.49	18.15	35.50	1.78	1.14
ضریب تغییرات C.V. \$ (%)		19.1	26.8	12.3	16.9	18.7	13.2	13.7	10.5

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار، \$: ضریب تغییرات.

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively, ns: not significant, \$: coefficient of variation.

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری و کود دامی بر وزن بوته آویشن شیرازی
Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of irrigation and manure on plant weight of *Zataria multiflora* Bioss.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر بوته Plant fresh weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن تر ساقه Stem fresh weight	وزن تر گل Flower fresh weight	وزن هوا خشک برگ Leaf air dry weight	وزن آون خشک بوته Plant oven dry weight	وزن آون خشک برگ Leaf oven dry weight
بلوک Block	2	38947 ^{ns}	9408 ^{ns}	3596 ^{ns}	14.32 ^{ns}	930.89 [*]	2981 ^{ns}	779.52 [*]
آبیاری Irrigation	2	309896 ^{**}	48595 ^{**}	66420 ^{**}	114.2 ^{**}	5348.84 ^{**}	30935 ^{**}	4609 ^{**}
کود دامی Manure	3	34943 ^{ns}	5594 ^{ns}	3706 ^{ns}	43.27 [*]	539.02 ^{ns}	2825 ^{ns}	477.31 ^{ns}
اثر متقابل I × M	6	5619 ^{ns}	865 ^{ns}	1816 ^{ns}	73.06 ^{ns}	207.04 ^{ns}	1259 ^{ns}	180.95 ^{ns}
باقی‌مانده Residual	22	15371	2738	1765	14.14	230.22	978	196.39
ضریب تغییرات C.V. \$ (%)		27.9	25.7	23.7	26.8	19.7	20.1	19.6

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار، \$: ضریب تغییرات.

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively, ns: not significant, \$: coefficient of variation.

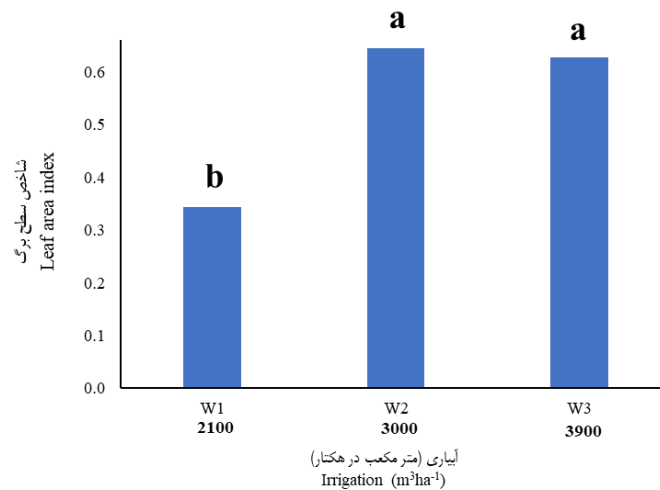
جدول ۴- ادامه جدول، نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری و کود دامی بر وزن بوته آویشن شیرازی

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of irrigation and manure on plant weight of *Zataria multiflora* Boiss.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن آون خشک ساقه Stem oven dry weight	وزن آون خشک گل Flower oven dry weight	عملکرد کل (هوا خشک) Total yield (air dry)	عملکرد کل (آون خشک) Total yield (oven dry)
بلوک Block	2	697.43 ^{ns}	1.897 ^{ns}	4254.75 [*]	3745.25 [*]
آبیاری Irrigation	2	9534.23 ^{**}	137.14 ^{**}	17496.10 ^{**}	15430.55 ^{**}
کود دامی Manure	3	957.58 ^{ns}	85.319 ^{**}	992.79 ^{ns}	880.22 ^{ns}
اثر متقابل I × M	6	565.63 ^{ns}	79.811 ^{ns}	2034.68 ^{ns}	1785.30 ^{ns}
باقی مانده Residual	22	403	5.423	844.73	743.91
ضریب تغییرات (%) C.V. \$ (%)		26.3	30.0	19.8	19.8

* و **: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی دار، \$: ضریب تغییرات.

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively, ns: not significant, \$: coefficient of variation.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر شاخص سطح برگ آویشن شیرازی

Figure 1- Mean comparison for the effect of irrigation on leaf area index of *Zataria multiflora* Boiss.

نورانی خورشید شده و در نتیجه، سنتز مواد فتوسنتزی را افزایش می دهد (Liu et al., 2021). با بررسی نتایج حاصل از این آزمایش مشاهده شد که با کاهش مقدار آبیاری از ۳۰۰۰ به ۲۱۰۰ مترمکعب، شاخص سطح برگ نیز کاهش یافت. پژوهش حاضر با نتایج حاصل از

شاخص سطح برگ در جذب و دریافت تشعشعات خورشیدی بسیار پراهمیت است و بالا بودن این شاخص در بهبود رشد و افزایش عملکرد محصول مؤثر می باشد؛ افزایش شاخص سطح برگ، افزایش تراکم تاج پوشش را به دنبال دارد که موجب استفاده بهینه تر از انرژی

که به دلیل استفاده از کود دامی، میزان شاخص سطح برگ افزایش پیدا کرد که این امر می‌تواند به خاطر نقش کود دامی در بهبود خصوصیات خاک و متعاقب آن تقویت سیستم ریشه‌ای گیاه و جذب آب بیشتر نسبت به شرایط عدم کاربرد کود توسط گیاه باشد که منجر به تقلیل اثرات تنش در گیاه شده و همچنین ظرفیت جذب آب را بالا می‌برد و محیط مناسبی را برای گسترش سیستم ریشه‌ای فراهم می‌کند (Askary et al., 2019).

ارتفاع ساقه - ارتفاع بوته

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها در اثر ساده آبیاری بر ارتفاع بوته نشان داد که تیمار W_1 موجب کاهش ارتفاع بوته شده است، به طوری که بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۴۲ سانتی‌متر در تیمار آبیاری W_3 و کمترین آن با میانگین ۳۳ سانتی‌متر در تیمار آبیاری W_1 بود، همچنین در تیمار W_1 نسبت به تیمار W_3 به دلیل کاهش حجم آبیاری، ارتفاع بوته ۲۱ درصد کاهش یافت (شکل ۲). همچنین نتایج نشان داد که ارتفاع ساقه در تمام سطوح تیمار آبیاری نسبت به ارتفاع بوته بیشتر است و ساقه‌ها از طول بلندتری نسبت به متوسط بوته برخوردار بودند، علاوه بر این کمترین ارتفاع ساقه با میانگین ۳۷ سانتی‌متر مربوط به تیمار آبیاری W_1 و بیشترین ارتفاع ساقه مربوط به تیمار W_3 با مقدار میانگین ۵۰ سانتی‌متر بود، در این مورد ارتفاع ساقه در تیمار W_1 نسبت به تیمار W_3 به دلیل کاهش حجم آبیاری ۲۶ درصد کاهش داشت (شکل ۲).

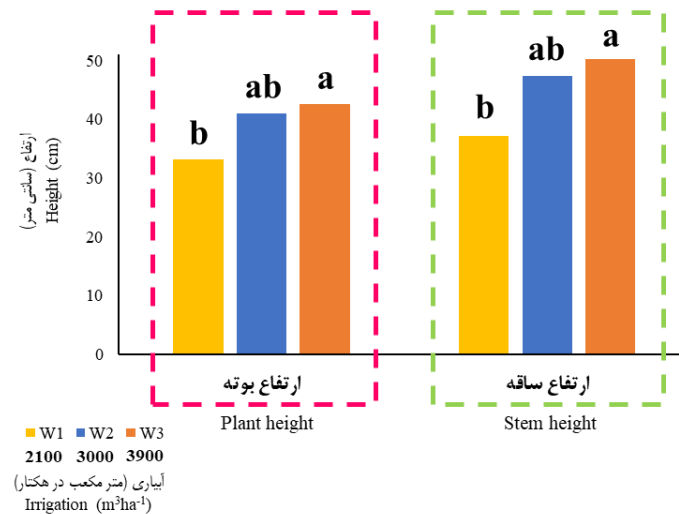
یافته‌های حاصل از آزمایش حاضر نشان داد که با کاهش سطوح آبیاری از ۳۹۰۰ به ۲۱۰۰ مترمکعب، از ارتفاع بوته و ساقه کاسته شده، به طوری که بین تیمارها اختلاف ۲۱ درصدی مشاهده گردید، همچنین در این آزمایش مشخص شد که در تمام سطوح آبیاری، طول ارتفاع ساقه از ارتفاع بوته بیشتر می‌باشد. با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که نتایج آزمایش حاضر با بسیاری از آزمایش‌های مشابه مطابقت داشته و با کاهش سطوح آبیاری از ۳۹۰۰ به ۲۱۰۰ مترمکعب، ارتفاع بوته نیز کاهش می‌یابد. در این رابطه، سپهوند و همکاران (Sepahvand, Jafari, Sefidkon, & Kalatejari, 2021) گزارش کردند که در گیاه آویشن دناپی، ارتفاع بوته با کاهش آبیاری روندی کاهشی داشت، به طوری که در سطح تنش آبی شدید، کاهش ۱۵ درصدی و معنی‌داری نسبت به آبیاری کامل نشان داد. همچنین نادری و همکاران (Naderi, Afranjeh, & Shabani, 2022) در آزمایشی روی آویشن شیرازی بیان کردند که با افزایش تنش خشکی از شاهد به تنش شدید، ارتفاع بوته کاهش یافت و بیشترین ارتفاع بوته را ۳۸ سانتی‌متر و مربوط به آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) اعلام کردند و کمترین آن ۲۰ سانتی‌متر و مربوط به تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بود، علاوه بر این

پژوهش‌های متعددی در این زمینه مطابقت دارد. برگ یکی از اصلی‌ترین اندام‌های گیاه دارویی آویشن شیرازی می‌باشد که از نقطه نظر تولید اسانس دارای اهمیت اقتصادی زیادی بوده که در این باره سطح برگ این گیاه دارای کرک‌های ترش‌خی می‌باشد و سنتز اسانس را بر عهده دارد؛ ریزش برگ تحت شرایط خشکی یا تولید سطح برگ کمتر از حد معمول یکی از واکنش‌های سازگاری متداول برای زنده ماندن گیاهان در این شرایط است (Abbasi, Houshmand, & Ahmadi, 2024). در این رابطه، کوچکی و همکاران (Koocheki, Nassiri, Mahallati, & Azizi, 2006) اظهار کردند که با کاهش آبیاری سطح برگ در بوته کاهش یافت، آن‌ها بیان داشتند که گیاه در مواجهه با کمبود آبیاری، برای حفظ رطوبت و کاهش تعرق، سطح برگ خود را کاهش داده و این پدیده همراه با افزایش ضخامت برگ می‌باشد. همچنین کاظم پور و همکاران (Kazempour, Sharghi, Sanavi, Zahedi, & Kon, 2023) در آزمایشی مشابه بیان کردند که با کاهش آبیاری، سطح برگ آویشن روندی کاهشی داشت و علت آن را این‌طور بیان کردند که نامناسب بودن تورژسانس سلولی سبب کاهش تقسیم سلولی شده و بسته شدن روزنه‌ها یا کاهش هدایت روزنه‌ای سبب تقلیل فتوسنتز و کاهش رشد گیاه می‌شود که این موارد از جمله عوامل کاهنده سطح برگ در گیاه آویشن هستند. به طور کلی، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش و مطالعات سایر پژوهشگران بر این موضوع به نظر می‌رسد که تنش آب علاوه بر افت گسترش، تأخیر در نمو و کاهش رشد برگ قادر است که به وسیله مرگ برگ و ریزش آن‌ها در طول مراحل مختلف رشدی بر شاخص سطح برگ تأثیرگذار باشد. به طور کلی کمبود آب از طریق کوچک کردن سطح برگ، بستن روزنه‌ها، کم کردن هدایت روزنه‌ای، کاهش در فرایندهای وابسته به کلروپلاست از کارآیی فتوسنتز می‌کاهد و همچنین با تقلیل سنتز کلروفیل موجب کاهش در فرایند فتوسنتز می‌گردد که در نهایت، این امر سبب کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی شده و با تخصیص مواد فتوسنتزی کمتری به برگ باعث کاهش رشد و نمو برگ شده و در نهایت سطح برگ کوچک می‌شود؛ همچنین کمبود آب می‌تواند به طور مستقیم بر فرایندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز تأثیر گذاشته و به طور غیرمستقیم نیز ورود دی اکسید کربن از طریق روزنه‌ها به داخل برگ‌ها را که به دلیل شرایط تنش آبی بسته شده‌اند را کاهش می‌دهد (Babae, et al., 2010).

علاوه بر این در آزمایش حاضر، افزایش سطوح کود دامی نسبت به شاهد به طور معنی‌داری تفاوتی در سطح برگ گیاه ایجاد نکرد، که در پژوهشی که توسط عسکری و همکاران (Askary et al., 2019) صورت پذیرفت، نتایجی مخالف با نتایج این آزمایش داشتند. این محققان بیان کردند که با افزایش سطوح کود دامی، سطح برگ نیز بیشتر گردید، آن‌ها دلیل کاهش شاخص سطح برگ در آخر فصل رشد را به پیری، زرد شدن و ریزش برگ‌ها نسبت داده و بیان داشتند

گزارش کردند.

اشرفزاده و همکاران (Ashrafzadeh, Morshidi, Dashtabi, & Mohseni, 2021) نیز نتایج مشابهی را بر روی آویشن شیرازی



شکل ۲- اثر آبیاری بر ارتفاع بوته و ارتفاع ساقه آویشن شیرازی

Figure 2- Effect of irrigation on plant height and stem height of *Zataria multiflora* Boiss.

در آزمایش حاضر، کاربرد سطوح مختلف کود دامی به طور معنی داری اختلافی در ارتفاع بوته و ساقه ایجاد نکرد که این موضوع با نتایج حاصل از آزمایش توتونی و همکاران (Tutoni, Mousavi, & Mitra, 2021) در تضاد است، آن‌ها بیان کردند که ارتفاع بوته آویشن باغی با کاربرد کود دامی افزایش پیدا کرد، به طوری که بیشترین ارتفاع در کاربرد ۳۰ درصد حجمی کود دامی به میزان ۳۶ سانتی متر مشاهده گردید که این باعث افزایش ۲۱ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد.

تعداد شاخه جانبی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر ساده تیمار آبیاری بر تعداد شاخه‌های جانبی گیاه نشان داد که اعمال تیمار W_1 و کاهش میزان آبیاری نسبت به دو تیمار دیگر باعث کاهش تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه شد، به طوری که میزان شاخه جانبی در تیمار W_1 نسبت به W_2 دچار کاهشی ۴۵ درصدی شده است و در بین سطوح آبیاری آزمایش، تیمار W_1 دارای کمترین میزان شاخه جانبی به میزان پنج جفت شاخه می‌باشد، و در مقابل با افزایش آبیاری از سطح تیمار W_1 ، تولید شاخه‌های جانبی در گیاه بیشتر شده و به میزان ۱۰-۱۲ جفت شاخه رسیده است (شکل ۳).

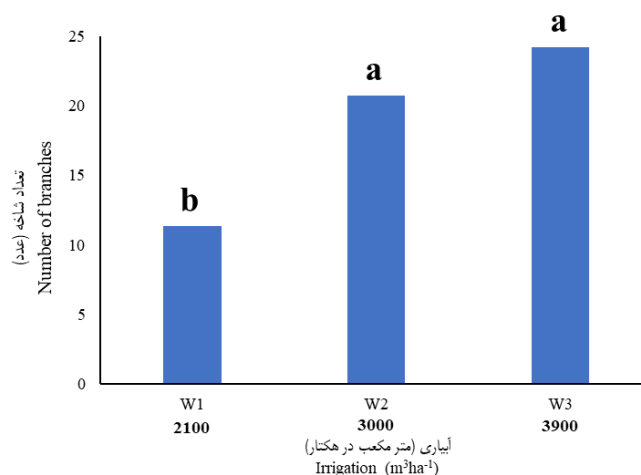
نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که با کاهش سطوح آبیاری از تعداد شاخه‌های جانبی آویشن شیرازی نیز کاسته شد، به طوری که اختلاف ۴۵ درصدی بین تیمارها مشاهده گردید، کاهش تعداد شاخه‌های جانبی بر اثر خشکی در آزمایش‌های زیادی روی گونه‌های

ماچیانی و همکاران (Machiani, Javanmard, Ostadi, Morshedloo, & Chabokpour, 2021) نیز بیان داشتند که بر اثر

افزایش سطح تنش خشکی از ارتفاع بوته آویشن باغی کاسته شده است، کمبود آب از طرفی با کاهش مقدار جذب مواد غذایی و از طرف دیگر با تحت تأثیر قرار دادن سازوکارهای مختلف از قبیل کاهش غلظت کلروفیل، سرعت فتوسنتز و کارایی آن منجر به کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Akhzari & Kavian, 2021).

با توجه به یافته‌های حاضر و همچنین کاهش سطح برگ، به نظر می‌رسد که کاهش ارتفاع گیاه را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطه کمبود آب و کاهش سنتز مواد فتوسنتزی برای ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه (Luo et al., 2023) به‌خاطر بسته شدن روزنه‌ها، اختلال در ساختار غشاء تیلاکوئید و فعالیت آنزیم روبیسکو، کاهش ذخیره و انتقال مواد فتوسنتزی دانست. کاهش ارتفاع گیاه در هر ساقه دلیلی است برای اینکه تنش خشکی باعث کاهش تقسیم سلولی گردیده و انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه را کاهش داده است، در نتیجه طولیل شدن این سلول‌ها متوقف می‌شود و به گونه‌ای رشد رویشی گیاه کاهش پیدا می‌کند. از آنجاکه بخش هوایی گیاه دارای حساسیت بیشتری به تنش کم‌آبی می‌باشد، محدودیت‌های نموی در اثر کمبود رطوبت خاک در این بخش زودتر اتفاق می‌افتد. هر گونه کمبود آب موجب تقلیل بیشتر آماس سلولی، کاهش توسعه و تقسیم سلولی به‌خصوص در ساقه و برگ‌ها می‌شود، به همین خاطر اولین اثر قابل مشاهده کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا کوچک‌تر شدن اندازه برگ‌ها تشخیص داد (Abdi, Asghari, Abolhassani, Amerian, & Bodi, 2022).

متعددی از آویشن گزارش شده است که یافته‌های آزمایش حاضر نیز همسو با آن‌ها می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر تعداد شاخه جانبی آویشن شیرازی

Figure 3- Mean comparisons for the effect of irrigation on the number of lateral branches of *Zataria multiflora* Boiss.

به‌طوری‌که مقدار آن‌ها به‌ترتیب ۲۵۸، ۱۳۰، ۹۱ و ۱۰ گرم بر مترمربع شده است، همچنین در این مورد تیمار W_1 نسبت به تیمار W_2 در صفات وزن تر کل، برگ، ساقه و گل به‌ترتیب دچار ۵۱، ۴۶، ۵۸ و ۴۱ درصد کاهش وزنی در مترمربع شده است، که این نمایانگر اهمیت آب در وزن تر این گیاه می‌باشد. همچنین مقادیر وزنی تیمارهای W_2 و W_3 از نظر آماری در صفات وزن تر کل، برگ، ساقه و گل تفاوت معنی‌داری نداشته و مشابه بودند، که می‌توان موضوع را این‌طور بیان کرد که با مصرف آب کمتر در تیمار W_2 نسبت به W_3 می‌توان به عملکرد بوته مشابه در مترمربع رسید (شکل ۴).

همچنین در اثر کود دامی بر وزن تر گل نیز مشاهده شد که با مصرف بیشتر کود دامی در هکتار در همه سطوح کودی مورد استفاده، وزن تر گل نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد، به‌طوری‌که وزن تر گل در تیمارهای M_2 و M_3 نسبت به شاهد ۴۵ درصد افزایش یافت که نشان‌دهنده اهمیت مصرف کود دامی در تشکیل گل و افزایش وزن تر آن می‌باشد (شکل ۵).

وزن آون خشک کل بوته، برگ، ساقه و گل

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمار آبیاری در این بخش مشابه نتایج حاصل از صفات وزن تر این گیاه بود و تیمار W_1 نسبت به سایر تیمارهای آبیاری دارای کمترین مقادیر وزنی بودند (شکل ۶).

همچنین درصد رطوبت موجود در گیاه تازه‌برداشت‌شده نسبت به وزن آون خشک این گیاه برای کل بوته در تیمارهای آبیاری W_2 و W_1 به‌ترتیب معادل ۶۵، ۶۲ و ۶۵ درصد می‌باشد، در برگ به‌ترتیب معادل ۶۴، ۶۲ و ۶۶ درصد، در ساقه به‌ترتیب معادل ۵۹، ۵۱، ۵۶ درصد و در گل به‌ترتیب معادل ۳۹، ۶۳ و ۳۶ درصد رطوبت

در این خصوص، شرفی و همکاران (Ala Sharafi, Changizi, Rafiee, Gomarian, & Khagani, 2019) گزارش کردند که تعداد شاخه‌های جانبی در آویشن باغی با افزایش تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و از میانگین ۱۳ شاخه در شرایط نرمال به ۱۱ شاخه در تنش شدید خشکی (۵۵ درصد ظرفیت زراعی) رسید. همچنین عسکری و همکاران (Askary, Parsa, Behdani, Jami, Al-Ahmadi, & Mahmoodi, 2023) گزارش کردند که با کاهش میزان رطوبت خاک از ۱۰۰ به ۳۳ درصد ظرفیت زراعی، تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه به‌میزان ۹/۵ درصد کاهش یافت. شرفی و همکاران (Sharafi, Changizi, Rafiee, Gomarian, & Khagani, 2021) نیز گزارش کردند که بالاترین تعداد شاخه فرعی به‌میزان ۱۲ شاخه مربوط به شاهد بود و با اعمال تنش خشکی تعداد شاخه جانبی نسبت به شاهد کاهش یافت، به نظر می‌رسد که با کاهش ارتفاع ساقه و همچنین کاهش سطح برگ، میزان مواد فتوسنتزی نیز در گیاه کاهش پیدا کرده و به‌تبع آن مواد فتوسنتزی کمتری برای پر شاخه و برگ‌تر شدن گیاه هزینه شده است، در این صورت گسترش شاخه‌های جانبی در گیاه کاهش پیدا کرده است، بدین ترتیب می‌توان کاهش تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه را در شرایط خشکی احتمالاً به‌عنوان نوعی سازوکار سازگاری دانست.

وزن تر و خشک گیاه (برگ، ساقه، گل و بوته)

وزن تر کل بوته، برگ، ساقه و گل

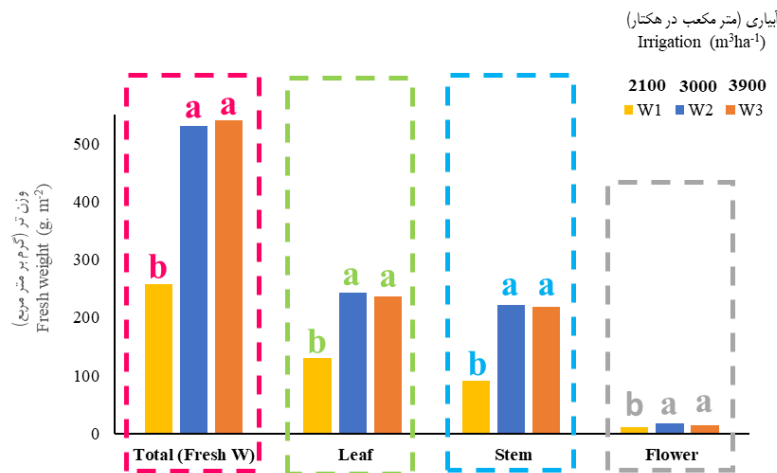
نتایج حاصل از این آزمایش در اثر تیمار آبیاری بر صفات وزن تر (کل بوته، وزن تر برگ، ساقه و گل) نشان داد که تیمار W_1 در بین سایر سطوح آبیاری و در صفات مذکور دارای کمترین مقادیر می‌باشد،

طول دوره رشد و راندمان استفاده از نور تحت تأثیر شرایط محیطی و ساختار تاج پوشش است. با کاهش رشد سلول در اثر کمبود آب، اندازه اندام‌های هوایی گیاه محدود شده و همین مورد موجب کاهش وزن ماده خشک تولیدی در گیاه می‌شود. همچنین در شرایط کمبود آب، توسعه و رشد برگ‌ها محدود شده و با کاهش سطح برگ، جذب نور توسط گیاه کاهش پیدا می‌کند، افزون بر این موارد، کارایی مصرف نور نیز کاهش یافته و در نهایت میزان فتوسنتز کل در گیاه کاهش پیدا می‌کند، در شرایط کمبود آب بدیهی است که فرآورده‌های فتوسنتزی با محدودیت مواجه شده، رشد گیاه کم شده و در نهایت وزن ماده خشک گیاه کاهش می‌یابد (Zhao et al., 2020).

می‌باشد، که خشبی بودن گیاه آویشن شیرازی را نسبت به سایر گیاهان نمایش می‌دهد.

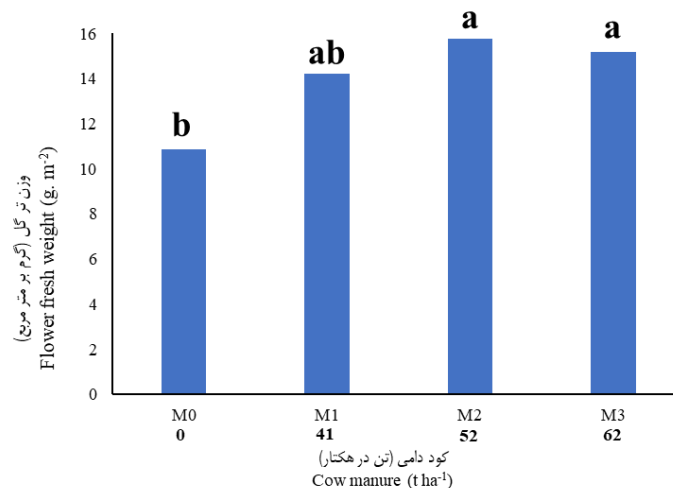
همچنین در اثر ساده تیمار کود دامی بر وزن خشک گل، تیمار M₃ بیشترین وزن خشک گل را نسبت به سایر سطوح کود دامی با مقدار ۱۲ گرم در مترمربع دارا بود که این مقدار نسبت به شاهد ۱۰۰ درصد افزایشی بوده و با استفاده از این مقدار کود دامی، وزن خشک گل نسبت به شاهد دو برابر شده است (شکل ۷).

در مجموع، وزن خشک گیاه، نمایانگر توانایی و قدرت گیاه در تولید و ذخیره مواد پرورده ساخته شده در طول فصل رشد می‌باشد و ماده خشک تولیدی در گیاه نیز به عنوان تابعی از نور جذب شده در



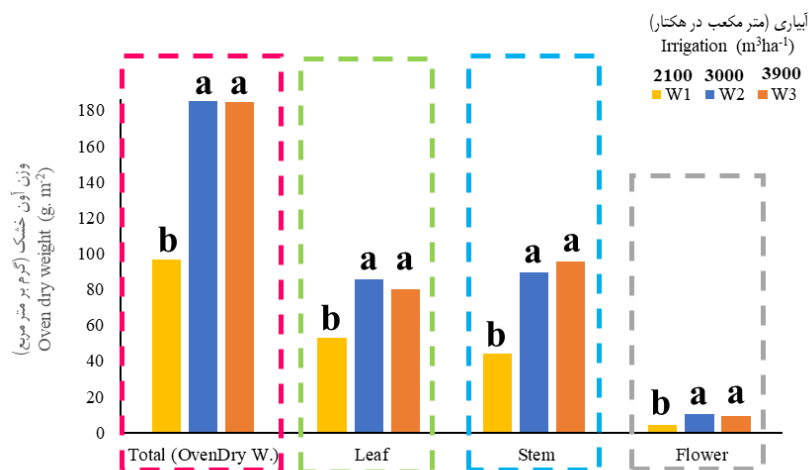
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر وزن تر برگ، ساقه، گل و کل شاخساره آویشن شیرازی

Figure 4- Mean comparisons for the effect of irrigation on total fresh weight, leaf, stem and flower of *Zataria multiflora* Boiss.



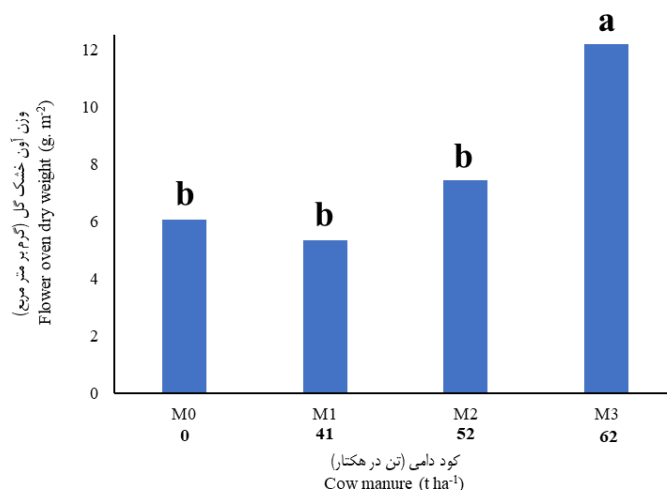
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر کود دامی بر وزن تر گل آویشن شیرازی

Figure 5- Mean comparisons for the effect of cow manure on flower fresh weight of *Zataria multiflora* Boiss.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر وزن آون خشک کل، برگ، ساقه و گل آویشن شیرازی

Figure 6- Mean comparisons for the effect of irrigation on total dry weight of leaf, stem and flower of *Zataria multiflora* Boiss.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر کود دامی بر وزن آون خشک گل آویشن شیرازی

Figure 7- Mean comparisons for the effect of cow manure on flower dry weight of *Zataria multiflora* Boiss.

ساقه را ۳۸ و ۵۱ درصد کاهش داد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. همچنین پارسا و همکاران (Parsa, Behdani, Askari, Jami, & Mahmoudi, 2020) بیان کردند که در شرایط تنش خشکی، تلفات برگ و در نتیجه درصد برگ‌های خشک افزایش و درصد برگ‌های باقی‌مانده روی گیاه آویشن دناپی نسبت به حالت شاهد کاهش یافت، در نتیجه با کاهش تعداد برگ، نسبت وزن برگ خشک به ساقه کاهش یافت. همچنین در آزمایشی که توسط نگاری و همکاران (Negari et al., 2023) صورت گرفت، افزایش وزن ساقه در رطوبت بیشتر مشاهده گردید، به نظر می‌رسد که رطوبت بیشتر باعث تحریک ساقه‌ها برای بزرگ‌تر و قوی‌تر شدن آن‌ها می‌شود، که این واکنش می‌تواند نوعی عمل خود-تنظیمی در گیاه برای تحمل کردن برگ و گل بیشتر و همچنین ذخیره مواد غذایی برای زمستان-

طبق نتایج آزمایش حاضر با کاهش سطوح آبیاری وزن تر و خشک بوته و سایر اجزای عملکرد گیاه از جمله وزن برگ، ساقه و گل نیز کاهش پیدا کرد، که نتایج حاصل از این آزمایش با بسیاری از محققان دیگر همسو بود و آن‌ها نیز به نتایج مشابه رسیده بودند. در این رابطه، کاظم‌پور و همکاران (Kazempour et al., 2023) بیان کردند که با کاهش آبیاری، وزن تر و خشک برگ نسبت به آبیاری مطلوب کاهش داشت، و این موضوع ممکن است به کاهش تورژسانس سلولی نسبت داده شود که به‌نوبه خود باعث کاهش طول و توسعه سلولی می‌شود. همچنین نگاری و همکاران (Negari, Al-Ahmadi, & Zamani, 2023) گزارش دادند که سطح تأمین رطوبت در ۶۰ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی نسبت به ۹۰ درصد، عملکرد برگ در آویشن باغی را به‌ترتیب ۲۰ و ۳۸ درصد و عملکرد

همچنین وزن برگ، ساقه و گل را نسبت به شاهد افزایش داد (Tutoni et al., 2021; Parsa et al., 2020). در آزمایش حاضر، مشخص شد که با افزایش مقدار کود مورد استفاده وزن گل نیز نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد، که این یافته با نتایج آزمایشات متعدد و مشابهی مطابقت دارد، افزایش عملکرد گل در نتیجه استفاده از کود دامی را می‌توان به افزایش عناصر غذایی خاک و فراهم آوردن قابلیت جذب آن‌ها توسط گیاه مرتبط دانست (Parsa, Behdani, Askari, Jami, & Mahmoudi, 2020).

قطر بوته

قطر بزرگ و کوچک بالای بوته

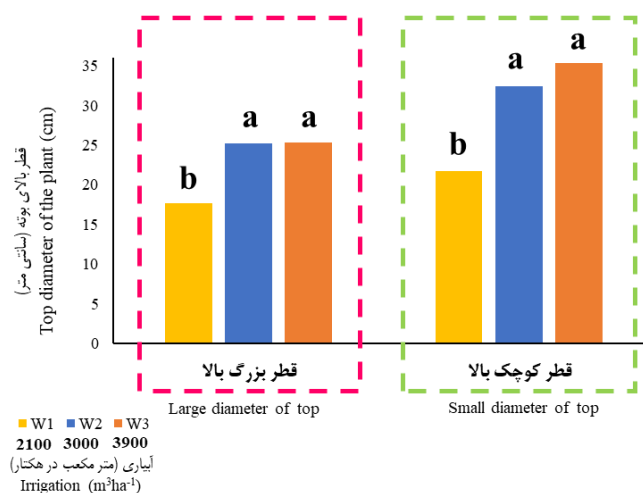
در شکل ۸ مشاهده می‌شود که تیمار W_1 آبیاری موجب شد تا قطر بزرگ و همچنین قطر کوچک بالای بوته به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا کند و کمترین قطر را در بین سطوح آبیاری با مقادیر ۲۱ و ۱۷ سانتی‌متر به‌ترتیب برای قطر بزرگ و قطر کوچک داشته باشد. در این میان، قطر بزرگ و کوچک بالای بوته در تیمار W_1 نسبت به تیمار W_2 به‌ترتیب ۳۲ و ۳۰ درصد کاهش یافت. همچنین تیمارهای W_2 و W_3 چه در قطر بزرگ بالا و چه در قطر کوچک بالای بوته از نظر آماری مقادیر یکسانی داشتند. درصد تغییرات قطر کوچک بالا نسبت به قطر بزرگ بالا در حدود ۱۸-۲۸ درصد در سطوح مختلف آبیاری مشاهده شد. به نظر می‌رسد که بالای بوته به‌خاطر شرایط محیطی و سایر موارد به‌صورت شعاعی رشد نکرده است و رشدش به یک سمت منحرف و نامتقارن شده است و این موضوع شاید به‌خاطر فضای کم بوته‌ها روی ردیف بر اثر رشد بالای بوته و اشغال فضای روی ردیف توسط شاخه‌ها باشد، در ضمن کمترین درصد تغییرات قطر کوچک نسبت به قطر بزرگ در بالای بوته مربوط به تیمار W_1 می‌باشد. این بوته‌ها به‌خاطر اینکه تنش رطوبتی به آن‌ها وارد شده و رشدشان کمتر بوده، کوچک‌تر مانده‌اند و در روی ردیف فضای بیشتری در اختیار داشته‌اند، و به این خاطر احتمالاً شعاعی‌تر و متقارن‌تر رشد کرده‌اند.

قطر بزرگ و کوچک پایین بوته

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها در اثر ساده تیمار آبیاری نشان داد که تیمار W_1 دارای کمترین قطر بزرگ و کوچک پایین بوته به‌ترتیب با مقادیر ۹/۲ و ۹ سانتی‌متر است و همچنین مقادیر قطر بزرگ و کوچک پایین بوته برای تیمارهای W_2 و W_3 از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت و مقدار آن به‌طور متوسط در حدود ۱۰ سانتی‌متر بود. با بررسی درصد تغییرات مشاهده شد که در هر دو مورد، قطر بزرگ و کوچک پایین بوته در تیمار W_1 نسبت به تیمار W_2 به‌مقدار ۱۳ درصد کاهش یافت.

گذرانی در گیاه باشد. برگ آویشن‌ها علاوه‌بر اینکه محل مهم واکنش‌های بیوشیمیایی کربن‌گیری، فتوسنتز، تولید و ذخیره مواد غذایی و اکسیژن و همچنین تبخیر، تعریق و تعرق است، مهم‌ترین محل تشکیل غدد اسانس است. ساقه گیاه نیز پل ارتباطی اندام هوایی و زیرزمینی، ذخیره‌گاه مواد غذایی و محل نگهداری برگ، گل و میوه است. علاوه‌بر این در پژوهش‌های صورت‌گرفته مشخص شد که با افزایش سطح تنش کم‌آبی از عملکرد سرشاخه‌های گلدار نیز کاسته شد (Goshasbi, Heidari, Sabbagh, & Makarian, 2020; Goshasbi, Heidari, Sbbagh, & Makarian, 2021). متعاقب آن، عملکرد گل در دو گونه مختلف آویشن کاهش پیدا کرد (Parsa, Behdani, Askari, Jami, & Mahmoudi, 2020). تحت شرایط تنش خشکی، سطح برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش پیدا کردند و باعث کاهش انتقال این مواد به‌سمت گل‌ها شده که در نهایت باعث کاهش عملکرد خشک گل می‌گردد (Parsa, Behdani, Askari, Jami, & Mahmoudi, 2020). از آنجاکه اندام‌های هوایی حساسیت بیشتری به تنش کم‌آبی دارند و محدودیت نمو گیاه در اثر کمبود رطوبت خاک در قسمت‌های هوایی زودتر اتفاق می‌افتد، به همین دلیل در مرحله زایشی، گیاه حساسیت خاصی نسبت به تنش آب دارد. تنش خشکی از ظهور سلول‌های بنیادی گل جلوگیری می‌کند (Abdi, Asghari, Abolhassani, Amerian, & Bodi, 2022). در شرایط کمبود آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی و سطح برگ کاهش پیدا می‌کند و به‌تبع آن مواد فتوسنتزی کاهش یافته و این مواد، کمتر به‌سمت گل‌ها منتقل می‌شود که در نهایت سبب کاهش عملکرد ماده خشک گل می‌شود (Shojaei, Salehi Shanjani, Zarghami, Jafari, & Nurmohammadi, 2021). در تحقیقی روی آویشن باغی مشخص گردید که افزایش تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار وزن تر بوته شد (Farag, Abdelbar, & Shehata, 2019)، همچنین در تحقیقی دیگر، اعمال تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک بوته گردید (Tutoni et al., 2021). عباس‌زاده و همکاران (Abbaszadeh, Layeghhaghighi, Azimi, & Hadi, 2020) بیان کردند که با افزایش تنش خشکی، وزن تر و خشک بوته نسبت به شاهد کاهش نشان داد. این کاهش احتمالاً می‌تواند یا بر اثر کاهش میزان کلروفیل II و بازدهی فتوسنتز بوده و یا تحت تأثیر تخصیص بیشتر زیست‌توده تولیدی گیاه به‌سمت ریشه‌ها باشد.

در آزمایش حاضر، تأثیر معنی‌دار کود دامی فقط بر وزن گل ($P \leq 0.01$) مشاهده شد و بر سایر صفات بی‌معنی بود و در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. در این باره، نتایج آزمایش بیستگانی و همکاران (Bistgani et al., 2018) نیز با تحقیق حاضر مطابق بود و بیان داشتند که کود دامی هیچ تأثیر مثبتی بر زیست‌توده و عملکرد اسانس گیاه آویشن باغی نداشت. از طرفی، در تعدادی از پژوهش‌های صورت‌گرفته، مصرف کود دامی، وزن خشک بوته آویشن باغی و

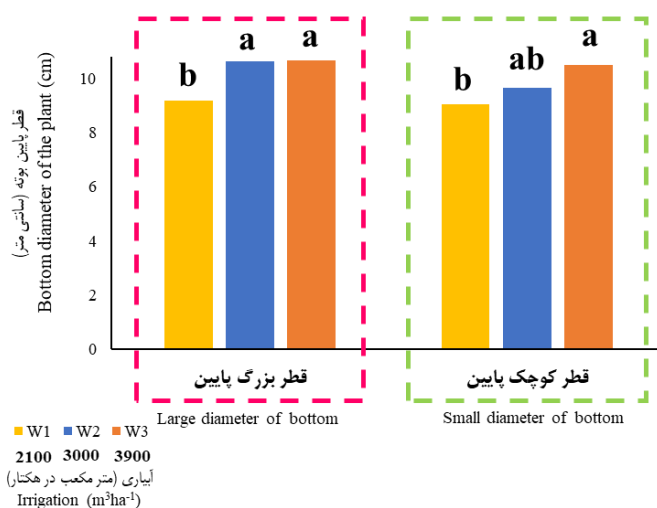


شکل ۸- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر قطر بزرگ و کوچک بالای بوته آویشن شیرازی

Figure 8- Mean comparisons for the effect of irrigation treatment on the large and small diameter of the top of the plant of *Zataria multiflora* Boiss.

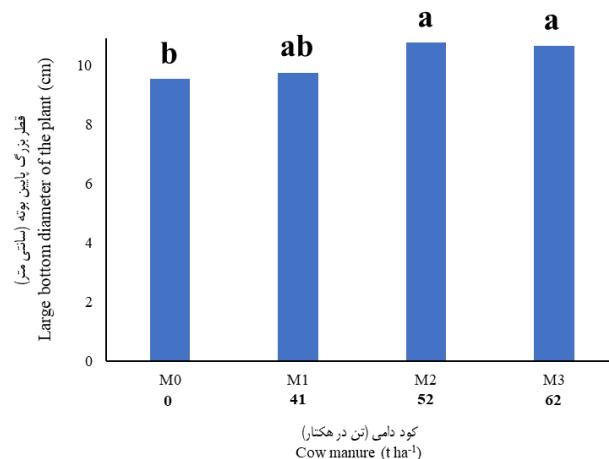
در قسمت بالای آن شده است، ولی در پایین آن، بوته‌ها به صورت متقارن رشد خود را شروع کرده‌اند (شکل ۹).
بررسی اثر کود دامی نشان داد که با افزایش استفاده از کود دامی، میزان قطر بزرگ پایین بوته نیز افزایش یافت، به طوری که بیشترین قطر بزرگ پایین بوته مربوط به تیمارهای M_2 و M_3 با مقادیر $10/7$ و $10/6$ سانتی‌متر و کمترین میزان آن مربوط به شاهد (با مقدار $9/5$ سانتی‌متر) بود، علاوه بر این مقدار قطر بزرگ پایین بوته در تیمار M_2 نسبت به شاهد 13 درصد افزایش یافت (شکل ۱۰).

همچنین با بررسی درصد تغییرات قطر کوچک پایین بوته نسبت به قطر بزرگ پایین آن مشاهده شد که مقدار آن در حدود یک درصد در سطوح مختلف آبیاری می‌باشد که روشن‌گر این است که در این آزمایش، بوته‌های آویشن شیرازی تا ارتفاع پنج سانتی‌متری از سطح طوقه به صورت شعاعی و متقارن رشد کرده‌اند، ولی پس از آن به دلیل کمبود فضای رشدی بر روی ردیف دچار انحراف رشدی شده‌اند و باعث شده تا شاخه‌های این گیاه به سمتی که فضای رشدی کافی در اختیار دارند، کشیده شوند که این مورد سبب نامتقارن شدن رشد بوته



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر قطر بزرگ و کوچک پایین بوته آویشن شیرازی

Figure 9- Mean comparisons for the effect of irrigation treatment on the large and small diameter of the bottom of the plant of *Zataria multiflora* Boiss.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر کود دامی بر قطر بزرگ پایین بوته آویشن شیرازی

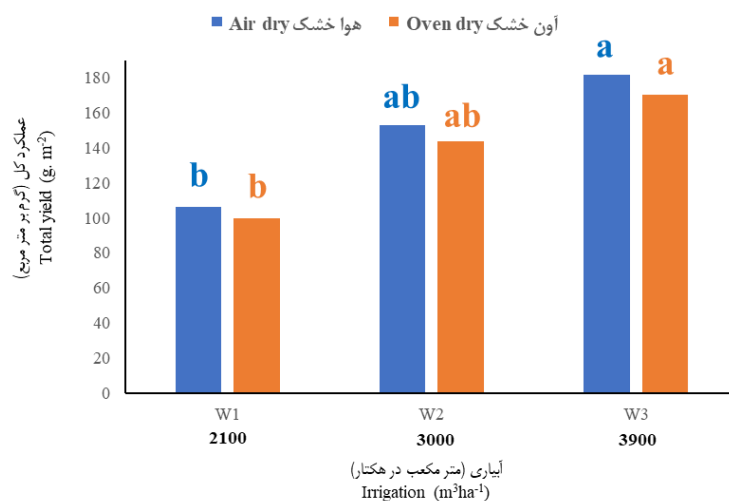
Figure 10- Mean comparisons for the effect of cow manure on the large diameter of the bottom of the plant of *Zataria multiflora* Boiss.

گل آذین نیز افزایش می‌یابد.

عملکرد کل

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر آبیاری بر عملکرد کل آون خشک نشان داد که کمترین عملکرد کل مربوط به تیمار آبیاری W₁ با مقدار ۹۹ گرم بر مترمربع است و بیشترین آن مربوط به تیمار آبیاری W₃ با مقدار ۱۷۰ گرم بر مترمربع می‌باشد. همچنین عملکرد کل در تیمار W₁ نسبت به تیمار W₃ به‌خاطر کاهش مقدار آبیاری به‌مقدار ۴۱ درصد کاهش یافت که این مقدار کاهش نشان‌دهنده تحمل پایین آویشن شیرازی نسبت به تنش‌های رطوبتی بوده که به‌تبع آن کاهش در زیست‌توده و عملکرد کل را موجب می‌شود (شکل ۱۱).

در آزمایش حاضر با کاهش سطوح آبیاری از قطر تاج‌پوشش کاسته شد که با نتایج ماچیان و همکاران (Machiani et al., 2021) مطابقت دارد، کاهش قطر تاج‌پوشش با افزایش تنش خشکی را می‌توان به توسعه و گسترش کمتر سلول‌ها در نتیجه کمبود رطوبت و به‌تبع آن جذب کمتر عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه نسبت داد. در این باره، رضائی و همکاران (Razaei, Safarnejad, Arab, Alamdari, & Dalir, 2016) نیز دریافتند که بین بزرگ‌ترین قطر تاج‌پوشش، کوچک‌ترین قطر تاج‌پوشش و سطح تاج‌پوشش و ارتفاع ساقه، و همچنین با تعداد ساقه در بوته و وزن تر و خشک بوته نیز همبستگی بالایی وجود دارد. با افزایش تعداد ساقه در بوته، مساحت و قطر بزرگ و کوچک بوته نیز افزایش می‌یابد، که منجر به افزایش عملکرد وزن تر و وزن خشک می‌شود. با افزایش ارتفاع ساقه، طول



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر عملکرد کل (هوا خشک و آون خشک) آویشن شیرازی

Figure 11- Mean comparisons for the effect of irrigation on total yield (air dry and oven dry) of *Zataria multiflora* Boiss.

که کاهش حجم آبیاری تأثیر منفی بر خصوصیات ریخت‌شناختی گیاه آویشن شیرازی داشت، به‌طوری‌که تعداد شاخه جانبی، ارتفاع ساقه و بوته، شاخص سطح برگ، قطر بزرگ و کوچک، وزن (بوته، برگ، ساقه و گل) و همچنین عملکرد کل کاهش پیدا کرد، احتمالاً یکی از تأثیرات تنش خشکی بر وزن خشک گیاه را می‌توان مربوط به کاهش سطح برگ به‌دلیل عوامل فیزیولوژیکی حادث‌شده در گیاه دانست، در این آزمایش تیمار W_1 نسبت به W_2 ، سطح برگ را به‌مقدار ۴۷ درصد کاهش داد، در این رابطه احتمال می‌رود که کاهش سطح فتوسنتزکننده و در نتیجه کاهش مواد فتوسنتزی سبب گردید تا وزن برگ کاهش یابد و با تخصیص کمتر مواد فتوسنتزی به ساقه به‌عنوان نگهدارنده بخش‌های هوایی گیاه، وزن آن نیز کاهش یافته و به‌تبع آن از ارتفاع بوته نیز کاسته شود و در نتیجه رشد هوایی گیاه محدود شده، از قطر تاج‌پوشش و تعداد شاخه‌های جانبی کاسته می‌شود و به‌دنبال آن گیاه دچار عقب‌ماندگی و کاهش وزن خشک می‌گردد. کود دامی نیز بر صفات قطر بزرگ پایین بوته و وزن گل تأثیرگذار بود و با افزایش کود این صفات بیشتر شدند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از جناب آقای محمدتقی شمشادی بابت حمایت و پشتیبانی و سرکار خانم دکتر مهوش مجدی بابت راهنمایی و کمک‌هایشان در طول پروژه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

در پژوهش حاضر با کاهش مقدار آبیاری از عملکرد کل گیاه آویشن شیرازی کاسته شد، این یافته با نتایج آزمایش رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2023) روی آویشن باغی مشابه بود، آن‌ها بیان کردند که رشد سلولی مهم‌ترین فرآیند کلیدی است که به‌وسیله کمبود آب تحت تأثیر قرار گرفته و این مورد ناشی از فشار آماس پایین می‌باشد، زمانی که سطح برگ کاهش می‌یابد، گنجایش پذیرش نور نیز کاهش می‌یابد، که متعاقباً ظرفیت فتوسنتزی کل را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، تنش خشکی منجر به ایجاد روزهایی با دهانه کوچک‌تر شده، که سبب کاهش معنی‌دار سرعت تبادل دی‌اکسید کربن می‌شود، چنین کاهشی در نهایت منجر به فتوسنتز پایین‌تر شده و در نتیجه رشد، عملکرد و کارایی گیاه را کاهش می‌دهد. علاوه بر این نتایج حاضر نشان داد که سطوح کود دامی اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند که با نتایج آزمایش پارسا و همکاران (Parsa, Behdani, Askari, Jami, & Mahmoudi, 2020) مغایرت داشت، در بررسی آن‌ها کاربرد کود دامی، میزان وزن خشک کل را نسبت به شرایط عدم استفاده از کود دامی در دو گونه آویشن دناوی و باغی افزایش داد که بیانگر اثرات مثبت کود دامی بر صفات رویشی و در نهایت وزن خشک کل بوده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های حاصل از این آزمایش می‌توان بیان داشت

References

- Abbasi, S., Houshmand, S., & Ahmadi, T. (2024). Volatile compositions and glandular trichomes of *Zataria multiflora* in different phenological stages under normal and drought stress conditions. *BMC Plant Biology*, 24(1), 483. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05196-0>
- Abbaszadeh, B., Layeghhaghighi, M., Azimi, R., & Hadi, N. (2020). Improving water use efficiency through drought stress and using salicylic acid for proper production of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 144, 111893. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111893>
- Abdi, L., Asghari, H. R., Abolhassani, M. T., Amerian, M. R., & Bodi, H. N. (2022). Effect of salicylic acid on growth and phytochemical characteristics of *Thymus daenensis* under drought irrigation. *Journal of Plant Process and Function*, 48(11), 195-210. (in Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1610-fa.html>
- Ahadi, H., Aliahmadi, A., & Mirjalili, M. H. (2020). Chemical composition and antibacterial activity of the carvacrol-rich essential oils of *Zataria multiflora* Boiss. (Lamiaceae) from southern natural habitats of Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23(4), 779-787. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1824688>
- Akhzari, D., & Kavian, H. (2021). Effect of drought stress on morphophysiological traits of *Thymus vulgaris* L. in a field experiment, Borujerd, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 11(4), 470-479.
- Alla Sharafi, G., Changizi, M., Rafiee, M., Gomarian, M., & Khagani, S. (2019). Investigating the effect of drought stress and vermicompost biofertilizer on morphological and biochemical characteristics of *Thymus vulgaris* L. *Archives of Pharmacy Practice*, 10(3), 137-145.
- Ashrafi, M., Azimi-Moqadam, M. R., MohseniFard, E., Shekari, F., Jafary, H., Moradi, P., & Mastinu, A. (2022). Physiological and molecular aspects of two *Thymus* species differently sensitive to drought stress. *BioTech*, 11(8), 1-12. <https://doi.org/10.3390/biotech11020008>
- Ashrafzadeh, M. K., Morshidi, S., Dashtabi, M., & Mohseni, M. (2021). *The effect of Acosorb superabsorbent*

- polymer and irrigation on the performance of Shirazi thyme medicinal plant*. The 12th National Conference. Sustainable Agriculture and Natural Resources, Iran. (in Persian). <https://civilica.com/doc/1762255>
9. Askary, M., Behdani, M. A., Parsa, S., Ahmadi, M., & Mahmoodi, S. (2019). Effects of water stress and application of manure on growth indices and accumulation of dry matter of *Thymus vulgaris* and *Thymus daenensis*. *Journal of Agroecology*, 11(2), 703-721. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.63227>
 10. Askary, M., Parsa, S., Behdani, M. A., Jami Al-Ahmadi, M., & Mahmoodi, S. (2023). Evaluation of quantitative yield of two Thyme species affected as different levels of drought stress and the manure application. *Journal of Medicinal Plants and By-Product*, 12(1), 11-27.
 11. Babaei, K., Dehaghi, M. A., Sanavi, S. A. M. M., & Jabbari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, proline content and thymol percentage of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2), 240-251. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6939>
 12. Bistgani, Z. E., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., Pirbalouti, A. G., Hashemi, M., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2018). Application of combined fertilizers improves biomass, essential oil yield, aroma profile, and antioxidant properties of *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, 12(1), 434-440. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.048>
 13. Chubeigi, N. (2013). *A review of the morphological effects of drought stress on medicinal plants*. First National Conference on Water Crisis. Azad University of Khorasgan, Isfahan, Iran. (in Persian). <https://civilica.com/doc/215317>
 14. da Cunha Honorato, A., de Assis, R. M. A., Maciel, J. F. A., Nohara, G. A., de Carvalho, A. A., Pinto, J. E. B. P., & Bertolucci, S. K. V. (2024). Fertilization with different manure sources and doses provides quantitative-qualitative gains in the production of *Thymus vulgaris* L. *South African Journal of Botany*, 16(4), 345-355. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.11.052>
 15. Fakhri, K., Sayfzadeh, S., Sarajooghi, M., Valadabadi, S. A., & Masouleh, I. H. (2023). Effect of biochar, planting pattern and irrigation methods on yield and yield components of essential oil and nutrient content of Thyme (*Thymus vulagris*). *Agricultural Knowledge Journal*, 33(2), 73-84. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2022.49278.2782>
 16. Farag, R., Abdelbar, O., & Shehata, S. (2019). Impact of drought stress on some growth, biochemical and anatomical parameters of *Thymus vulgaris* L. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 27(1), 37-50.
 17. Goshasbi, F., Heidari, M., Sabbagh, S. K., & Makarian, H. (2020). Effect of irrigation interval, bio and non-biofertilizers on yield components and some of biochemical compounds in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 3(1), 51-68. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22070/hpn.2020.5084.1070>
 18. Goshasbi, F., Heidari, M., Sbbagh, S. K., & Makarian, H. (2021). Effect of water deficit stress and bio and non - bio-fertilizers on flowering branches yield, photosynthetic pigments and concentration of macro elements in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(2), 157-172. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.293187.654660>
 19. Kazempour, A., Sharghi, Y., Sanavi, S. A. M. M., Zahedi, H., & Kon, A. F. S. (2023). Effect of amino acid foliar application on morphophysiological characteristics and thyme essential oil under different irrigation regimes. *Operation and Function of Plants*, 53(12), 71-90. (in Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1708-fa.html>
 20. Khairi, A., & Tori, A. (2014). *Introducing the most important medicinal plants that can be cultivated in dry and wet conditions*. First National Conference on Medicinal Plants, Traditional Medicine and Organic Agriculture. University of Hamedan, Hamedan, Iran. (in Persian). <https://civilica.com/doc/330045>
 21. Khosravi, S., Akbarpor, V., Bahmaniar, M., & Andi, S. (2023). The effect of zinc sulfate on some morphological traits of Shirazi thyme (*Zataria Multiflora* boiss.) under drought stress conditions. *Medicinal and Aromatic Plants*, 3(1), 29-36. (in Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1804649>
 22. Koocheki, A., & Khajah-Hosseini, M. (2017). Low water agriculture in Iran: Strategies and applications, Iran. (in Persian with English abstract). <https://profdoc.um.ac.ir/book-abstract-224131.html>
 23. Koocheki, A., Nassiri-Mahallati, M., & Azizi, G. (2006). The effects of water stress and defoliation on some of quantitative traits of *Zataria multiflora*, *Ziziphora clinopodioides*, *Thymus vulgaris* and *Teucrium polium*. *Iranian Agricultural Research Journal*, 2(1), 89-106. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v2i1.1167>
 24. Lebaschi, M. H., Ashoorabadi, E. S., Tafti, M. M., & Asadi-Sanam, S. (2018). Effect of plant density on quality and quantity yield of *Thymus vulgaris* in dry farming conditions in seven provinces of Iran. *Journal of Agricultural Crops Production*, 20(1), 113-126. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2018.226925.1663>
 25. Liu, F., Song, Q., Zhao, J., Mao, L., Bu, H., Hu, Y., & Zhu, X. G. (2021). Canopy occupation volume as an indicator of canopy photosynthetic capacity. *New Phytologist*, 232(2), 941-956.

- <https://doi.org/10.1111/nph.17611>
26. Luo, Q., Xie, H., Chen, Z., Ma, Y., Yang, H., Yang, B., & Ma, Y. (2023). Morphology, photosynthetic physiology and biochemistry of nine herbaceous plants under water stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1147208. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1147208>
 27. Machiani, M. A., Javanmard, A., Ostadi, A., Morshedloo, M. R., & Chabokpour, J. (2021). Effects of harvest time and mycorrhiza fungus application on quantitative and qualitative yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oil at different irrigation levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36(6), 1022-1037. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.351323.2835>
 28. Meamari, S., Yavari, A., & Bikdeloo, M. (2020). Investigation of chemical diversity of essential oil of natural populations of *Zataria multiflora* Boiss. in Hormozgan province. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(3), 669-677. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2020.306929.1826>
 29. Miri, Z., Shahidi, A., Siouki, A. K., & Rouhian, M. H. (2022). The effect of irrigation cycle on yield and yield components of *Zataria multiflora* (Case study: Aliabad Fars). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 16(4), 751-761. (in Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1534294>
 30. Mohammadi, M., Karim, M. H., Dahmardeh, M., & Ghasemi, A. (2021). The prospect of investment in medicinal plants at Sistan region. *Journal of Medicinal Plants and By-Product*, 10(2), 127-132. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2021.342441.1195>
 31. Moshrefi-Araghi, A., Nemati, H., Azizi, M., Hadian, J., Moshtaghi, N., & Shoor, M. (2023). Screening of distributed horsemint (*Mentha longifolia* L.) accessions for agricultural drought tolerance based on biological responses. *Acta Physiologiae Plantarum*, 4(5), 130-154. <https://doi.org/10.1007/s11738-023-03605-9>
 32. Naderi, R., Afranjeh, E., & Shabani, M. (2022). *Effects of application of superabsorbent on physiological responses of German chamomile under water deficit irrigation*. 17th Iranian Soil Science Congress: Soil Perspectives in the New Century of Iran. University of Tehran, Karaj, Iran. (in Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1312580>
 33. Naseri, H., Ahmadipour, S., & Meteor, G. N. (2023). *The effect of using some biofertilizers and iron chelate on quantitative and qualitative traits of Shirazi thyme (Zataria multiflora L.)*. The 5th National Conference on Sustainable Development in Agricultural Natural Resources and Environment of Iran. University of Tehran, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1693535>
 34. Negari, A. K., Al-Ahmadi, M. J., & Zamani, G. (2023). The study of responses of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) to the elicitors of coronatine, methyl jasmonate and cyclodextrin in different levels of supplying moisture under farm conditions. *Environmental Stresses In Crop Sciences*, 16(2), 467-485. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2023.4746.2064>
 35. Parsa, S., Behdani, M. A., Askari, M., Jami, M., & Mahmoudi, S. (2020). Investigating the performance and components of biomass performance and some physiological traits of two species of thyme (*Thymus daenensis* & *Thymus vulgaris*) under drought stress conditions and fertilizer application. *Environmental Stresses In Crop Sciences*, 11(1), 47-63. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2017.161.1041>
 36. Pawlak, K., & Kołodziejczak, M. (2020). The role of agriculture in ensuring food security in developing countries: Considerations in the context of the problem of sustainable food production. *Sustainability*, 12(13), 5488. <https://doi.org/10.3390/su12135488>
 37. Pourhosseini, S. H., Mirjalili, M. H., Ghasemi, M., Ahadi, H., Esmaeili, H., & Ghorbanpour, M. (2020). Diversity of phytochemical components and biological activities in *Zataria multiflora* Boiss. (Lamiaceae) populations. *South African Journal of Botany*, 135, 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.08.024>
 38. Rahimi, A., Gitari, H., Lyons, G., Heydarzadeh, S., Tunçtürk, M., & Tunçtürk, R. (2023). Effects of Vermicompost, compost and animal manure on vegetative growth, physiological and antioxidant activity characteristics of *Thymus vulgaris* L. under water stress. *Journal of Agricultural Sciences*, 33(1), 40-53. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1124458>
 39. Razaee, M., Safarnejad, A., Arab, M., Alamdari, S. B. L., & Dalir, M. (2016). Investigation of Morphologic Variation and Essence Value in several thyme native species (*Thymus* sp) of Iran. *Journal of Horticultural Science*, 30(3), 383-394. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v30i3.30435>
 40. Riaz, U., Iqbal, S., Sohail, M. I., Samreen, T., Ashraf, M., Akmal, F., & Khan, N. I. (2021). A comprehensive review on emerging importance and economical potential of medicinal and aromatic plants (MAPs) in current scenario. *Pakistan Journal*, 34(2), 381-392. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2021/34.2.381.392>
 41. Rosa, L., Chiarelli, D. D., Rulli, M. C., Dell'Angelo, J., & D'Odorico, P. (2020). Global agricultural economic water scarcity. *Science Advances*, 6(18), eaaz6031.
 42. Saatsaz, M. (2020). A historical investigation on water resources management in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 22(3), 1749-1785. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-00307-y>
 43. Safaii, L., Ashoorabadi, E. S., & Aminazarm, D. (2023). The study of three populations of *Zataria multiflora* L. using agronomical and phytochemical traits in Isfahan. *Agricultural Knowledge Journal*, 33(3), 173-184. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2022.49287.2784>

44. Sasanihoma, R., Gholami, M., & Sarikhani, H. (2012). Effect of LED light on plant growth and essential oil quality of *Zataria multiflora* in in vitro condition. Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (in Persian).
45. Sefidkan, F., & Naderi, M. (2021). Investigation of constituent compounds of Shirazi thyme essential oil, *Zataria multiflora* Boiss. *Research of Medicinal and Aromatic Plants of Iran*, 3(2), 92-102. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.351323.2835>
46. Sepahvand, A., Jafari, A., Sefidkon, F., & Kalatejari, S. (2021). Effects of water stress on seedling growth and physiological traits in four thyme species. *Journal of Rangeland Science*, 11(1), 1-14. <https://www.sid.ir/fileserver/je/1004020210101.pdf>
47. Sharafi, G., Changizi, M., Rafiee, M., Gomarian, M., & Khagani, S. (2021). Effect of drought stress and vermicompost biofertilizer on morphophysiological traits of *Thymus vulgaris* L. *Journal of Plant Process and Function*, 44(10), 147-159. (in Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1458-fa.html>
48. Shojaei, A., Salehi Shanjani, P., Zarghami, R., Jafari, A. A., & Nurmohammadi, G. (2021). Effect of water deficit on grain yield and yield components ispaghula (*Plantago ovata* Forssk.). *Journal of Medicinal plants and By-Products*, 10(2), 193-198. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2020.352135.1269>
49. Tutoni, M., Mousavi, M., & Mitra, R. (2021). *The effect of organic fertilizer on the morphological and physiological characteristics of thyme under drought stress conditions*. The 12th International Conference on Agriculture, Environment, Urban and Rural Development. (in Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1692335>
50. Vaičiulytė, V., Ložienė, K., & Sivická, I. (2022). Effect of Organic matter fertilizers on the composition of volatiles, morphometrical and anatomical parameters of essential oil-bearing *Thymus* × *Citriodorus* cultivated in an open field conditions. *Horticulturae*, 8(1), 917-934. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100917>
51. Walia, S., Kumar, V., Kalra, V. P., Kaur, T., Alfagham, A. T., AL-Humaid, L. A., Alamri, S., Kumar Gupta, R., & Haider, F. U. (2023). Effects of organic manures and bio-fertilizer on yield, oil content, and soil health of japanese mentha (*Mentha arvensis* L.). *Environmental Sciences*, 9(2), 417-435. <https://doi.org/10.20944/preprints202308.0721.v1>
52. Yavari, A. R., Nazeri, V., Sefidkon, F., & Hassani, M. E. (2010). Evaluation of some ecological factors, morphological traits and essential oil productivity of *Thymus migricus* Klokov & Desj.-Shost. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2), 227-238. (in Persian with English abstract). <https://www.sid.ir/paper/105570/fa>
53. Zhao, W., Liu, L., Shen, Q., Yang, J., Han, X., Tian, F., & Wu, J. (2020). Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use efficiency in winter wheat. *Water*, 12(8), 2127. <https://doi.org/10.3390/w12082127>