

Effects of foliar application of sodium nitroprusside, kaolin and potassium on yield and some biochemical characteristics of *Thymus daenensis* Celak under dry farming conditions and complementary irrigation

Afshin Tavakoli¹, Samaneh Asadi-Sanam^{2*} and Arash Roozbahani¹

1- Department of agronomy and plant breeding, agricultural faculty, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Tehran, Iran

2*- Corresponding author, Medicinal Plants and By-Products Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: asadisanam@rifr-ac.ir

Received: October 2023

Revised: November 2023

Accepted: November 2023

Abstract

Background and objectives: In producing medicinal plants, it is critical to use plants with a high percentage of active ingredients and consume low amounts of water. *Thymus daenensis* Celak is a tolerant *Thymus* species for rainfed cultivation. In addition, using complementary irrigation regimes and applying anti-stress compounds at critical stages of plant growth are suitable programs for sustainable production and optimal water consumption under dry farming conditions. For this purpose, this experiment was to evaluate the effect of different complementary irrigation regimes along with sodium nitroprusside (SNP) as a nitric oxide donor, kaolin, and potassium spraying on yield and some biochemical characteristics of *T. daenensis* under rainfed conditions.

Methodology: This experiment was designed and implemented as a split plot based on a randomized complete blocks design with three replications in the research field of the Research Institute of Forests and Rangelands-Homand Rangelands Research Station (Damavand) for three years (2017-2019 crop years). The experimental treatments included complementary irrigation as the main factor at three levels: control (no irrigation), one and two complementary irrigation, and spraying of stress-modulating substances as a secondary factor with three compounds of SNP (200 μ M), kaolin (5%) and potassium (75 kg/ha from a potassium sulfate source). Cultivation was indirect and through seedlings. To prepare seedlings, the seeds were planted in the cultivation trays in the greenhouse at the end of September. After growing in the greenhouse, the seedlings (8-10 leaves) were transferred to the field in November with rain monitoring. Complementary irrigation and different foliar spraying treatments were done twice in the pre-flowering and 10 % flowering stages. Treatments were applied in the third year of plant growth to increase economic yield. After applying the treatments, the plant's flowering branch was sampled to measure malondialdehyde (MDA). After measuring the morphological characteristics (plant height and canopy diameter) in the full flowering stage, plant shoots were harvested to determine the dry matter yield per square meter and hectare. Percentage and yield of essential oil, total phenol, total flavonoids, and antioxidant capacity were also determined.

Results: The results showed that increasing the number of complementary irrigations increased the crown diameter, plant height, and dry matter yield per plant and hectare. Kaolin treatment under two complementary irrigation regimes had the highest height (31.6 cm), and the control treatment under no irrigation had the lowest height (19.3 cm). Also, using kaolin and two complementary irrigations showed the highest dry matter yield per m² (77.2 grams) and per hectare (771.4 kg). In addition, MDA content was lower in the double complementary irrigation treatment with kaolin foliar spraying (1.22 μ mol/g of fresh weight). Foliar spraying of kaolin,



potassium, and SNP under rainfed conditions (without irrigation) increased the amount of essential oil (by 1.83, 1.67, and 1.6 percent, respectively) compared to the control treatment (1.4 percent). In contrast, the maximum essential oil yield per hectare was related to the double complementary irrigation regime with potassium foliar spraying (10.6 kg/ha). Foliar spraying with potassium in the regimes of without irrigation (rainfed) and one-time complementary irrigation had the highest content of total phenols and flavonoids, respectively. The highest antioxidant capacity was obtained without irrigation and foliar spraying (control).

Conclusion: This experiment showed that complementary irrigation increased dry matter yield per plant and hectare. On the other hand, foliar spraying with anti-stress compounds, especially kaolin, and potassium, along with complementary irrigation, increased essential oil yield per hectare. In general, based on the results of this experiment, it is suggested to use complementary irrigation regimes according to the available water sources. In addition, it is suggested to use kaolin or potassium foliar application under rainfed conditions for *T. daenensis*.

Keywords: *Thymus daenensis* Celak, potassium sulfate, malondialdehyde (MDA), total phenol, nitric oxide.

تأثیر محلول پاشی سدیم نیتروپروساید، کائولین و پتاسیم بر عملکرد و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak) در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

افشین توکلی^۱، سمانه اسدی صنم^{۲*} و آرش روزبهانی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات گیاهان دارویی و محصولات فرعی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: asadisanam@rifr-ac.ir

۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: آبان ۱۴۰۲

تاریخ اصلاح نهایی: آبان ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۲

چکیده

سابقه و هدف: در تولید گیاهان دارویی، استفاده از گیاهانی که بتوانند با مصرف آب کمتر ماده مؤثره بیشتری تولید کنند دارای اهمیت است. آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak) یکی از گونه‌های مناسب جنس آویشن (*Thymus*) برای کشت در شرایط دیم است. علاوه بر این، استفاده از رژیم‌های آبیاری تکمیلی همراه با کاربرد ترکیبات تعدیل‌کننده تنش در مراحل مختلف رشد گیاه به‌عنوان برنامه‌ای مناسب برای مصرف بهینه آب و دستیابی به تولید پایدار در شرایط دیم است. هدف از این آزمایش، ارزیابی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری تکمیلی به‌همراه محلول پاشی سدیم، نیتروپروساید (SNP) به‌عنوان رهاکننده نیتریک اکساید (NO)، کائولین و پتاسیم بر عملکرد و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی *T. daenensis* در شرایط دیم بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور- ایستگاه تحقیقات مراتع همدان (دماوند) در سال‌های زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۷ به‌مدت سه سال اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری تکمیلی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شاهد (عدم آبیاری)، یک و دو نوبت آبیاری و محلول پاشی مواد تعدیل‌کننده تنش به‌عنوان عامل فرعی با سه ترکیب سدیم نیتروپروساید (SNP) به‌عنوان دهنده نیتریک اکساید (NO) (۲۰۰ میکرومولار)، کائولین (۵٪) و پتاسیم (۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم (K₂SO₄)) بود. کشت به‌صورت غیرمستقیم و از طریق نشاء انجام شد. برای تهیه نشاء، بذرها در اواخر شهریور در سینی‌های کشت در گلخانه کاشته شدند. پس از رسیدن گیاهچه‌ها به مرحله ۸ تا ۱۰ برگی، با پایش بارش‌های مؤثر در اواسط آبان به مزرعه منتقل شدند. آبیاری تکمیلی و تیمارهای مختلف محلول پاشی برگی در دو نوبت در زمان پیش از گلدهی و ۱۰٪ گلدهی انجام شد. در راستای افزایش عملکرد اقتصادی، در سال سوم رشد گیاه، تیمارها اعمال شدند. پس از اعمال تیمارها، نمونه‌برداری از سرشاخه گلدار گیاه برای اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدهید (MDA) انجام شد. پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیک (ارتفاع بوته و قطر تاج پوشش) در مرحله گلدهی کامل، برداشت از شاخساره گیاه برای تعیین عملکرد ماده خشک در سطح مترمربع و هکتار انجام شد. درصد و عملکرد اسانس، میزان فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تعیین گردید.

نتایج: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش تعداد آبیاری تکمیلی، قطر تاج پوشش، ارتفاع گیاه و عملکرد ماده خشک در سطح مترمربع و هکتار افزایش یافتند. بیشترین ارتفاع (۳۱/۶ سانتی‌متر)، تحت رژیم دوبار آبیاری تکمیلی همراه با محلول پاشی کائولین و کمترین مقدار آن (۱۹/۳ سانتی‌متر)، در تیمار شاهد در شرایط بدون آبیاری مشاهده شد. همچنین کاربرد کائولین همراه با رژیم دوبار آبیاری تکمیلی، بیشترین عملکرد ماده خشک در سطح مترمربع (۷۷/۲ گرم) و هکتار (۷۷۱/۴ کیلوگرم) را به‌دنبال داشت. علاوه بر این، میزان MDA در رژیم دوبار آبیاری تکمیلی همراه با محلول پاشی کائولین (۱/۲۲ میکرومول در گرم ماده تر) کمتر بود. محلول پاشی کائولین، پتاسیم و SNP در شرایط دیم (بدون آبیاری)، موجب افزایش معنی‌دار درصد اسانس (به ترتیب با ۱/۸، ۱/۷ و ۱/۶ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد (۱/۴٪) شد، در حالی که بیشترین عملکرد اسانس در هکتار مربوط به رژیم دوبار آبیاری

تکمیلی همراه با محلول پاشی پتاسیم به مقدار ۱۰/۶ کیلوگرم در هکتار بود. در محلول پاشی با پتاسیم در رژیم‌های بدون آبیاری و یک‌بار آبیاری تکمیلی، به ترتیب بیشترین محتوای فنل و فلاونوئید کل اندازه‌گیری شد. بیشترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط بدون آبیاری و بدون محلول پاشی (شاهد) بدست آمد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج این آزمایش، آبیاری تکمیلی موجب بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد ماده خشک در سطح مترمربع و هکتار گردید. از سوی دیگر، محلول پاشی با ترکیبات تعدیل‌کننده تنش به‌ویژه کاتولین و پتاسیم همراه با رژیم‌های آبیاری تکمیلی موجب افزایش عملکرد اسانس در هکتار شد. در مجموع، براساس نتایج این آزمایش، استفاده از رژیم‌های آبیاری تکمیلی با توجه به منابع آبی در دسترس به‌همراه محلول پاشی کاتولین و یا پتاسیم در تولید *T. daenensis* در شرایط دیم، پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak)، سولفات پتاسیم، مالون‌دی‌آلدهید، فنل کل، نیتریک‌اکساید.

مقدمه

در تولید گیاهان دارویی، شناسایی گیاهانی که بتوانند با مصرف آب کمتر ماده مؤثره بیشتری تولید کنند، حائز اهمیت است. سطح وسیعی از زمین‌های دیم کشور زیر کشت غلات و حبوبات قرار دارد که گیاهان دارویی می‌توانند جایگزین مناسبی برای این گیاهان باشند. در کشت دیم گیاهان دارویی چندساله، نه تنها هر سال نیاز به شخم و عملیات خاک‌ورزی نیست بلکه هزینه تولید این گیاهان نسبت به کشت هر ساله غلات دیم هم، کمتر است (Solowey, 2010). از جمله این گیاهان می‌توان به گونه‌های جنس آویشن (*Thymus*) از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) اشاره کرد. این جنس در ایران ۱۴ گونه شناسایی شده که چهار گونه آن از جمله *Thymus daenensis* Celak انحصاری ایران هستند (Rechinger, 1982). گونه آویشن دنایی (*T. daenensis*) گیاهی خشبی، کوتاه‌قد و بالشتکی به ارتفاع ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر است که در مناطق مختلف کشور پراکنش دارد (Jamzad, 2011). از سرشاخه گلدار این گیاه برای تهیه نوشیدنی، طعم‌دهنده غذا و داروهای گیاهی استفاده می‌شود. تیمول (Thymol) ترکیب اصلی گیاه آویشن است (Nikavar et al., 2005). مقدار تیمول در گونه *T. daenensis* تا بیش از ۷۰٪ گزارش شده است (Stahl-Biskup & Holthuijzen, 1995).

در پژوهش‌های انجام شده روی کشت *T. daenensis* در شرایط دیم، Bakhtiari (۲۰۱۲)، با بررسی عملکرد ماده خشک و درصد اسانس چهار گونه آویشن (*T. vulgaris*،

T. pubescens، *T. daenensis* و *T. kotschyanus*) در شرایط دیم منطقه همدان (دماوند) گزارش کرد که *T. daenensis* و *T. kotschyanus* با بیشترین عملکرد ماده خشک، عملکرد و درصد اسانس به‌عنوان گونه‌های مقاوم به کم‌آبی با توان تولید کمی و کیفی بالا می‌تواند در منطقه معرفی گردد. Babaei و همکاران (۲۰۱۰) نیز در بررسی اثر تنش خشکی روی گیاه دارویی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) گزارش کردند که تنش خشکی، ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی و وزن خشک اندام رویشی و ریشه گیاه را کاهش داد. بنابراین بهبود شرایط کشت در تنش خشکی با استفاده از شیوه‌های مدیریتی مناسب، می‌تواند ظرفیت تولید گیاهان دارویی با ارزش اقتصادی بالا را بهبود ببخشد (Mohasseli & Sadeghi, 2019).

یکی از این مدیریت‌ها، آبیاری تکمیلی است که می‌تواند کمبود رطوبت خاک را در حد نسبتاً مناسبی برای گیاهان در شرایط دیم تأمین کند (Seifzadeh et al., 2020). استفاده از آبیاری تکمیلی در مراحل نیاز گیاه (شروع غنچه‌دهی و مرحله گلدهی) به‌عنوان برنامه‌ای مناسب برای مصرف بهینه آب و جلوگیری از نوسان عملکرد و دستیابی به تولید پایدار گیاه در تنش خشکی است (Oweis et al., 2004). در واقع کشاورز می‌تواند با یک یا دو مرحله آبیاری در زمان مناسب یا مرحله حساس رشدی مانند مرحله گلدهی، مقدار محصول خود را افزایش معنی‌دار دهد (Soultani et al., 2012). Seifzadeh و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری تکمیلی بر عملکرد و سودآوری

بهبود وضعیت آب گیاه دارد و به‌عنوان یک تعدیل‌کننده تعرق می‌تواند اثر تنش گرما و خشکی را کاهش دهد و موجب ذخیره آب شود (Boari et al., 2015). در پژوهشی دیگر، مشخص شد که محلول‌پاشی کائولین در درختان انگور موجب افزایش ماده مؤثره از جمله ترکیبات فنلی شده است (Conde et al., 2016).

استفاده از عناصر غذایی نیز به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی، از دیگر مدیریت‌های زراعی در شرایط دیم است (Raey et al., 2007). استفاده از کودهای شیمیایی علاوه بر نقش تغذیه‌ای آنها، برای حمایت گیاه برای تحمل در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی و جلوگیری از کاهش عملکرد از اهمیت زیادی برخوردار است. در تنش خشکی، وجود پتاسیم در نگهداری آب بافت‌های گیاهی اهمیت خاصی دارد و گزارش‌های زیادی در مورد تجمع آن در هنگام تنش اسمزی وجود دارد (Saeed-Akram et al., 2009). Mehrafarin و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی پاسخ فیتوشیمیایی و مورفوفیزیولوژیکی شوید (*Anethum graveolens* L.) به محلول‌پاشی سولفات پتاسیم (K_2SO_4) گزارش کردند که محلول‌پاشی این ترکیب موجب افزایش ارتفاع بوته، وزن خشک برگ، وزن تر گل‌آذین و درصد اسانس در مقایسه با تیمار شاهد شد.

نیاز به تولید محصولات آویشن برای استفاده در صنایع دارویی در حال افزایش است و رویشگاه‌های طبیعی آن هرگز جوابگوی این نیاز نیستند. با توجه به اهمیت کشت و سازگاری گیاهان دارویی، تأمین نیاز بازار داخلی و وجود مزارع کم‌بازده و دیم‌خیز در کشور، بایستی با انتخاب گونه‌های مناسب و در نظر گرفتن شرایط محیطی و مدیریت صحیح نهاده‌ها به عملکرد بهینه دست یافت. بنابراین، در این پژوهش ترکیبات تعدیل‌کننده تنش مانند پتاسیم، SNP و کائولین به‌منظور بررسی اثر آنها بر ماده مؤثره اسانس و ماده خشک گیاه، برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و میزان تحمل خشکی در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی ارزیابی شد.

گیاه گل گاوزبان (*Borago officinalis* L.) در شرایط دیم استان گیلان گزارش کردند که یک‌بار آبیاری تکمیلی، وزن خشک گل را تا ۷۸٪ در مقایسه با شاهد افزایش داد. از سوی دیگر، کاربرد ترکیبات تعدیل‌کننده تنش مانند کودهای پتاسیم و ترکیبات معدنی مانند کائولین و زیستی مانند سدیم نیتروپروساید (SNP) از جمله مدیریت‌های به‌زراعی در افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی محسوب می‌شود. به‌طور کلی در کاربرد کودها و ترکیبات معدنی و زیستی، کاربرد خاکی مواد غذایی تحت شرایطی که آب قابل دسترس کم است در افزایش جذب و یا انتقال مواد غذایی به گیاه همیشه مؤثر نیست، در چنین شرایطی استفاده از شیوه محلول‌پاشی گیاه مناسب‌تر از کاربرد خاکی است (Marschner, 2012).

کاربرد ترکیباتی مانند SNP که رهاکننده نیتریک‌اکساید (NO) است می‌تواند تحمل به تنش را در گیاهان افزایش دهد (Brito et al., 2021). این ترکیب، نقش کلیدی در بسیاری از فرایندهای بیوشیمیایی و نمو گیاهان دارد و شامل حفظ میزان آب، کاهش نشت یونی و افزایش ظرفیت فتوسنتزی در شرایط تنش و معمول است (Siddiqui et al., 2020). SNP تولید ترکیبات مؤثره دارویی شامل اسانس و سایر انواع ماده مؤثره را در گیاهان دارویی افزایش می‌دهد (Mohasseli & Sadeghi, 2019). Farouk و Al-Huqail (۲۰۲۰) طی پژوهشی گزارش کردند که کاربرد SNP تحت تنش خشکی موجب افزایش طول، تعداد و وزن خشک سرشاخه‌ها و میزان فنل و فلاونوئید کل در گیاه مرزنجوش (*Origanum marjorana* L.) در مقایسه با تیمار شاهد گردید.

کائولین ماده‌ای طبیعی است که در مزارع ارگانیک استفاده می‌شود، به همین دلیل گیاهانی که با کائولین تیمار می‌شوند، به راحتی می‌توانند مصرف شوند (Cosic et al., 2015). کائولین دارای ظاهری سفید رنگ از آلومینوسیلیکات و خاصیت آب‌دوستی و تعدیل‌کننده تنش است (Glenn et al., 2003). پژوهش‌ها نشان داده است که کائولین اثر زیادی بر کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش تعرق و

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه اجرای پژوهش

این آزمایش در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور- ایستگاه تحقیقات مراتع همد (دماوند) واقع در ۶۵ کیلومتری شرق تهران با موقعیت جغرافیایی ۵۲ درجه و پنج دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۱۹۶۰ متر ارتفاع از سطح دریا در سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۹ به مدت سه سال انجام شده است. پیش از اعمال تیمارها، نمونه‌برداری از خاک مزرعه در سه تکرار انجام و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (آزمایشگاه خاک‌شناسی - مؤسسه

تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور) و بافت خاک، لومی (سنگین) با اسیدیته قلیایی ۷/۷ گزارش شد (جدول ۱). اقلیم منطقه، نیمه‌استپی سرد با تابستان‌های گرم و خشک است. میانگین مقدار بارندگی سالیانه در ایستگاه حدود ۳۲۰ میلی‌متر، میانگین دمای سالیانه حدود ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین تبخیر سالیانه، حدود ۱۲۲۶ میلی‌متر است. دوره یخبندان منطقه، حدود پنج ماه و دوره خشکی حدود چهار ماه می‌باشد. برخی از اطلاعات هواشناسی سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در جدول ۲ ارائه شده است (ایستگاه هواشناسی کلیماتولوژی- ایستگاه تحقیقات مراتع همد (دماوند)).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک منطقه پژوهش

Table 1. Some physicochemical properties of experimental field soil

Soil depth (cm)	Soil texture	pH	EC (dS.m ⁻¹)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Organic carbon (%)	Total nitrogen (%)	Absorbable phosphorus (mg.kg ⁻¹)	Absorbable potassium (mg.kg ⁻¹)
0-30	Silty-clay	7.7	0.5	17	47.5	35.5	1	0.8	25	270

جدول ۲- آمار هواشناسی سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۹ ایستگاه تحقیقات مراتع همد، دماوند، استان تهران

Table 2. Meteorological statistics of 2017-2018 crop years of Homand Rangelands Research Station, Damavand, Tehran province

Month	Rainfall (mm)	Average temperature (°C)	Number of days below zero temperature	Relative humidity (%)	Average minimum temperature (°C)	Average maximum temperature (°C)
October	45	13	0	46.6	7	18.6
November	60.5	4.3	16	56.9	0.1	8.4
December	60	3.9	16	57.2	-0.3	8.2
January	74	0.1	25	58.4	-4.4	4.7
February	46.5	1.3	25	50.3	-3.6	6.1
March	34	2.2	25	45.5	-3.2	7.6
April	122	6.9	6	49.7	2.4	11.4
May	11.5	12.6	2	38.4	6.4	18.8
June	32	19.9	0	32.9	12.6	27.3
July	1.5	25.9	0	21.6	19.1	32.8
August	0	23.8	0	22.6	16.1	31.5
September	0.5	19.9	0	34.6	12.5	27.3

طرح آزمایشی، مواد گیاهی و شیوه کشت

آزمایش به صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و ۳۶ کرت (هر تکرار شامل ۱۲ کرت آزمایشی بود)، اجرا شد. ابعاد کرت‌های آزمایشی، ۳×۲/۵ متر بود که هر کرت شامل پنج ردیف کاشت با فاصله ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌های آزمایش از یکدیگر، یک متر و فاصله بلوک‌ها، سه متر بود. بذرهاى آویشن دنايى از مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شد. پس از تأیید بذرها توسط گیاه‌شناسان مؤسسه و بررسی قوه نامیه، کشت بذر در اواخر شهریور در سینی‌های کشت در گلخانه ایستگاه (همند- دماوند) در دمای بین ۱۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و نور طبیعی انجام شد. پس از حدود ۱/۵ تا دو ماه آبیاری روزانه و رسیدن گیاهچه‌ها به مرحله هشت تا ۱۰ برگی (هنگامی که ریشه‌ها به بیش از ۱۰ سانتی‌متر رسیده بود)، با پایش بارش‌های مؤثر (بیشتر از ۱۰ میلی‌متر) در اواسط آبان به مزرعه منتقل شدند. واکاری تعدادی از گیاهچه‌ها، در بهار برای تکمیل مزرعه انجام شد. کشت نشاءها به‌روش دیم‌کاری و در کف جوی‌های ایجاد شده با فاصله ۴۰ سانتی‌متر از هم انجام گردید. به دلیل کشت دیم آویشن‌ها، عملیات داشت در مزرعه، تنها مبارزه با علف‌های هرز بود که به‌روش دستی انجام شد.

در بهار پیش از کشت، مزرعه در اواخر خرداد و پیش از گلدهی علف‌های هرز، با گاواهن قلمی شخم عمیق زده شد تا ضمن کنترل علف‌های هرز، نسبت به حفظ رطوبت خاک و آماده شدن بستر کشت اقدام شود. در اواسط تابستان، به منظور کنترل علف‌های هرز چندساله و سله‌شکنی خاک برای حفظ رطوبت، از کولتیواتور پنجه‌غازی استفاده شد. در مهرماه، عملیات تسطیح زمین انجام و ردیف‌های کشت با تنظیم فاصله در ردیف‌کار به‌صورت جوی و پشته ایجاد شد.

تیمارها و شیوه اعمال آن

تیمارهای آزمایش شامل آبیاری تکمیلی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح، شاهد (عدم آبیاری)، یک و دو نوبت

آبیاری و محلول‌پاشی مواد تعدیل‌کننده تنش (معدنی و شیمیایی) به‌عنوان عامل فرعی با سه ترکیب سدیم نیتروپروساید (SNP) به‌عنوان منبع نیتریک‌اکساید (NO) ۲۰۰ میکرومولار؛ (Mousavi et al., 2019)، کائولین سپیدان wp (تنها کائولین فرآوری شده مجاز در کشاورزی؛ شرکت کیمیا سبز آور) (۵٪) و پتاسیم (۷۵ کیلوگرم در هکتار K₂O از منبع سولفات پتاسیم (K₂SO₄) ۵۰٪) بود. آبیاری تکمیلی و تیمارهای مختلف محلول‌پاشی برگ‌گی در دو نوبت پیش از گلدهی (شروع غنچه‌دهی) و ۱۰٪ گلدهی آویشن‌ها انجام شد.

در راستای افزایش عملکرد اقتصادی، در سال سوم رشد گیاه، تیمارها اعمال شدند. محلول‌پاشی در هنگام غروب و در هوای ملایم انجام شد، به‌طوری که برگ‌ها کاملاً خیس شدند. به‌منظور افزایش بازدهی تولید و رسیدن به عملکرد اقتصادی مطلوب، آبیاری تکمیلی در یک و دو نوبت براساس عرف منطقه همزمان با محلول‌پاشی گیاه، انجام شد. پس از اعمال تیمارها، نمونه‌برداری از سرشاخه گلدار گیاه در مرحله گلدهی کامل برای اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدهید (MDA) انجام شد و نمونه‌ها با نیتروژن مایع فریز و تا زمان اندازه‌گیری، در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

تعیین ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد ماده خشک

پس از اندازه‌گیری دو ویژگی مورفولوژیک گیاه (ارتفاع بوته و قطر تاج‌پوشش با خط‌کش)، برای تعیین عملکرد ماده خشک در سطح مترمربع و هکتار، برداشت از سرشاخه گلدار گیاه در مرحله گلدهی کامل به‌صورت تصادفی با پلات‌های دو مترمربعی با سه تکرار انجام شد. اولین پلات به‌صورت تصادفی و تکرارهای بعدی در راستای قطر پلات اول و به فاصله قطر پلات (دو متر) انجام گردید. بوته‌های مورد نظر از سطح خاک و از ناحیه طوقه، قطع و برای خشک‌شدن به محل سایه منتقل و بعد با ترازوی حساس توزین شدند.

ارزیابی MDA

غلظت MDA به عنوان محصول پراکسیده شدن اسیدهای چرب غشاء به روش Heath و Packer (۱۹۶۸) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. استخراج عصاره با استفاده از تری کلرو استیک اسید (TCA) ۱٪ انجام شد. ماده قرمز رنگ مالون دی آلدئید- تیوباریتوریک اسید (MDA-TBA) تولید شده در طول موج ۵۳۲ نانومتر و جذب سایر رنگیزه های اختصاصی در طول موج ۶۰۰ نانومتر سنجش و غلظت MDA برحسب نانومول بر گرم بافت تازه محاسبه و بیان شد.

استخراج اسانس

استخراج اسانس از سرشاخه های گلدار خشک گیاه توسط دستگاه کلونجر با روش تقطیر با آب به مدت دو ساعت انجام و با پودر سولفات سدیم خشک (Na_2SO_4) به عنوان ماده جذب کننده آب رطوبت گیری شد. برای تعیین مقدار اسانس براساس وزن خشک گیاه، درصد رطوبت گیاه محاسبه شد. درصد اسانس براساس وزن خشک سرشاخه و عملکرد اسانس از حاصل ضرب درصد اسانس در عملکرد سرشاخه محاسبه گردید.

تعیین فنل کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی

استخراج عصاره

استخراج عصاره فنلی از نمونه های خشک سرشاخه گلدار گیاه براساس روش Thygesen و همکاران (۲۰۰۷) با کمی تغییر انجام شد. ابتدا نمونه های خشک بافت گیاهی توسط دستگاه قهوه خردکن (مدل W90 E G-120205) پودر و از الک ۴۰ مش عبور داده شدند. سپس به ۰/۴ گرم از پودر الک شده، ۱۰ میلی لیتر متانول آب (۷۰:۳۰) اضافه شد. نمونه ها پس از ورتکس به مدت دو ساعت شیک شدند. عصاره های متانولی بدست آمده در دور ۱۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ و بخش رویی آنها جدا گردید. نمونه های بدست آمده تا زمان تجزیه شیمیایی در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

تعیین فنل کل

ارزیابی فنل کل با روش Folin Ciocalteu انجام شد (Singleton et al., 1999). ۱۲۵ میکرولیتر از عصاره متانولی استخراج شده با ۳۷۵ میکرولیتر آب و ۲/۵ میلی لیتر معرف فولین ۱۰٪ مخلوط شد. به مخلوط حاصل پس از شش دقیقه، دو میلی لیتر کربنات سدیم ۷/۵٪ اضافه شد. میزان جذب مخلوط واکنش، پس از ۹۰ دقیقه نگهداری در شرایط بدون نور در طول موج ۷۶۵ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (PG Instrument T80+, UK) اندازه گیری شد. در نهایت غلظت فنل کل از روی منحنی استاندارد برحسب میلی گرم اکی والان اسید گالیک در یک گرم ماده خشک بیان شد.

تعیین فلاونوئید کل

اندازه گیری فلاونوئید کل مطابق روش Du و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد. ابتدا ۱۵۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده به ترتیب با ۱۷۰۰ میکرولیتر اتانول ۳۰٪، ۷۵ میکرولیتر نیتريت سدیم (NaNO_2) ۰/۵ مولار و ۷۵ میکرولیتر کلرید آلومینیوم (AlCl_3) ۰/۳ مولار مخلوط گردید. پس از پنج دقیقه، ۵۰۰ میکرولیتر محلول هیدروکسید سدیم (NaOH) یک مولار اضافه و بعد با دستگاه ورتکس مخلوط شد، پس از ۱۵ دقیقه، میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (PG Instrument T80+, UK) در طول موج ۵۰۶ نانومتر قرائت گردید. در نهایت غلظت فلاونوئید کل از روی منحنی استاندارد برحسب میلی گرم اکی والان کوئرستین در یک گرم ماده خشک بیان شد.

ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی

فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره سرشاخه گلدار گیاه، از راه خاصیت خنثی کنندگی رادیکال آزاد DPPH با استفاده از روش طیفسنجی تعیین شد (Brand-Williams et al., 1995). برای این منظور، به ۵۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده نمونه ها، ۹۵۰ میکرولیتر محلول DPPH اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در شرایط تاریکی و در دمای اتاق نگهداری گردید. سپس،

مقدار جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$\%DPPH_{SC} = (A_{cont} - A_{samp}) / A_{cont} \times 100$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه آماری داده‌ها، از نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 2002) نسخه ۹ استفاده شد. مقایسه میانگین تیمارها، با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در

سطح احتمال ۵٪ و رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

صفات مورفولوژیک

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که صفات قطر تاج پوشش کوچک و بزرگ تحت تأثیر اثر ساده تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود ولی برهم‌کنش تیمارها بر این شاخص، تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید، کائولین و پتاسیم بر صفات مورفولوژیک، عملکرد ماده خشک و محتوای مالون دی‌آلدئید آویشن دنیایی در شرایط دیم

Table 3. ANOVA of complementary irrigation and foliar application of sodium nitroprusside, kaolin, and potassium effects on morphological traits, dry matter yield, and malondialdehyde content in *Thymus daenensis* under dry farming conditions

S.O.V.	d.f.	M.S.					
		Large canopy diameter	Small canopy diameter	Plant height	Dry matter.m ²	Dry matter.ha ⁻¹	MDA content
Repetition	2	7.1 ^{ns}	8.1 [*]	7.5 ^{**}	15.8 ^{**}	1577.5 ^{**}	0.592 ^{**}
Irrigation (I)	2	461.1 ^{**}	306.8 ^{**}	132.5 ^{**}	2147.9 ^{**}	214630.8 ^{**}	1.8 ^{**}
Experimental error (I)	4	4.9	2.4	1.8	3.7	372.9	0.073
Foliar spray (F)	3	259.2 ^{**}	3928.7 ^{**}	46.5 ^{**}	154.8 ^{**}	15443.1 ^{**}	0.925 ^{**}
I × F	6	9.7 ^{ns}	227.1 ^{ns}	2.5 ^{**}	6.5 ^{**}	656.6 ^{**}	0.036 ^{**}
Experimental error	18	4.4	2.7	0.364	1.4	141.8	0.004
C.V. (%)	-	8.1	7.4	5.1	7.1	8.3	3.1

ns, *, and **: non-significant, significant at 5%, and 1% probability levels, respectively; MDA: Malondialdehyde

کمترین میزان آن (۱۹/۳ سانتی‌متر) نیز در تیمار شاهد در شرایط بدون آبیاری (دیم) بدست آمد (جدول ۴). نتایج نشان داد که تأثیر تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی و برهم‌کنش آنها بر عملکرد ماده خشک (در سطح مترمربع و هکتار) آویشن دنیایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌های عملکرد ماده خشک در سطح مترمربع و هکتار، نشان‌دهنده افزایش این شاخص با افزایش تعداد آبیاری تکمیلی بود (جدول ۴). همچنین اعمال تیمارهای مختلف محلول‌پاشی در مقایسه با تیمار شاهد موجب افزایش عملکرد ماده خشک در سطح مترمربع و هکتار گردید. در بین تیمارهای

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی و برهم‌کنش آنها بر ارتفاع بوته آویشن دنیایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین داده‌های برهم‌کنش تیمارها بر ارتفاع گیاه نشان داد که با افزایش تعداد آبیاری تکمیلی، ارتفاع بوته افزایش یافت، به طوری که بیشترین ارتفاع بوته در رژیم دوبار آبیاری مشاهده شد (جدول ۴). علاوه بر این، کاربرد تیمارهای مختلف محلول‌پاشی به ویژه کائولین و بعد پتاسیم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری تکمیلی موجب افزایش ارتفاع بوته شد. تیمار محلول‌پاشی کائولین ۵٪ تحت رژیم دوبار آبیاری دارای بیشترین ارتفاع (۳۱/۶ سانتی‌متر) بود و

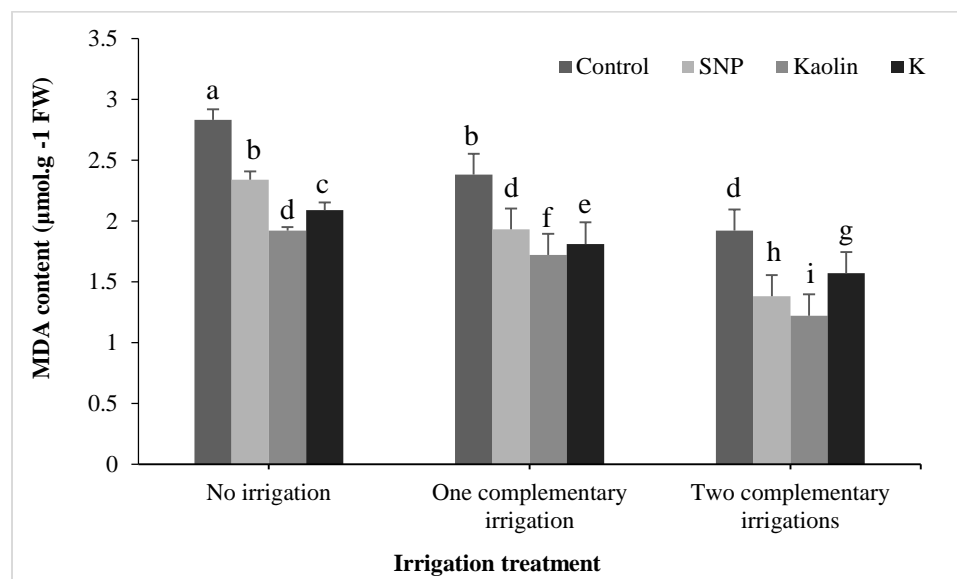
محلول پاشی، به ترتیب کاربرد کائولین، پتاسیم و SNP در همراه با رژیم دوبار آبیاری تکمیلی، بیشترین عملکرد ماده خشک در سطح مترمربع (۷۷/۲ گرم) و هکتار شاهد نشان دادند (جدول ۴). تیمار محلول پاشی کائولین

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول پاشی سدیم نیتروپروساید، کائولین و پتاسیم بر صفات مورفولوژیک و عملکرد ماده خشک آویشن دناپی در شرایط دیم

Table 4. Means comparison of complementary irrigation and foliar application of sodium nitroprusside, kaolin, and potassium interactions on morphological traits and dry matter yield in *Thymus daenensis* under dry farming conditions

Irrigation treatment	Foliar spray treatment	Plant height (cm)	Dry matter (g.m ⁻²)	Dry matter (kg.ha ⁻¹)
No irrigation	Control	19.3±0.737 ^h	40.6±0.638 ^l	406.4±6.5 ^l
	SNP	20.6±1.1 ^g	43.7±0.7 ⁱ	436.8±7.1 ⁱ
	Kaolin	23.2±0.809 ^e	49.7±1.6 ^g	496.4±16.6 ^g
	K	21.9±0.959 ^f	47.9±1.4 ^h	479.6±13.6 ^h
One complementary irrigation	Control	21.7±0.273 ^f	51.5±0.726 ^g	515.3±7.3 ^g
	SNP	24.9±0.318 ^d	56.5±1.2 ^f	564.4±11.8 ^f
	Kaolin	26.7±0.291 ^c	59±0.289 ^e	589.8±2.7 ^e
	K	26.8±0.318 ^c	56.8±0.462 ^f	567.9±4.5 ^f
Two complementary irrigations	Control	24.7±0.335 ^d	65.5±0.889 ^d	654.8±9.1 ^d
	SNP	26.6±0.218 ^c	69.8±1.1 ^c	697.8±10.6 ^c
	Kaolin	31.6±0.959 ^a	77.2±1.2 ^a	771.4±11.3 ^a
	K	28.6±0.504 ^b	75.7±1.1 ^b	757.2±10.1 ^b

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).
SNP: Sodium nitroprusside, Kaolin: Kaolin clay powder, K: Potassium sulphate (K₂SO₄)



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول پاشی سدیم نیتروپروساید، کائولین و پتاسیم

بر محتوای مالون دی آلدئید آویشن دناپی در شرایط دیم

Figure 1. Means comparison of complementary irrigation and foliar application of sodium nitroprusside, kaolin, and potassium interactions on malondialdehyde content in *Thymus daenensis* under dry farming conditions

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

SNP: Sodium nitroprusside, Kaolin: Kaolin clay powder, K: Potassium sulphate (K₂SO₄)

مالون دی آلدئید (MDA)

محلول پاشی با تیمار SNP در رژیم دوبار آبیاری، میزان کمتری (۱/۳۸ میکرومول در گرم ماده تر) را نشان داد. همچنین محلول پاشی پتاسیم موجب تعدیل میزان تجمع MDA در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۱).

درصد و عملکرد اسانس

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای ساده تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول پاشی بر درصد و عملکرد اسانس در سطح ۱٪ و برهم‌کنش آنها بر درصد و عملکرد اسانس در سطح ۵٪ معنی دار بود (جدول ۵).

نتایج نشان داد که تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول پاشی و برهم‌کنش آنها بر محتوای MDA سرشاخه گلدار آویشن دنیایی در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی دار داشت (جدول ۳). اعمال تیمارهای آبیاری تکمیلی به همراه محلول پاشی با ترکیبات کاهنده تنش گرما و خشکی موجب کاهش میزان MDA سرشاخه‌های گیاه شد (شکل ۱). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، کمترین میزان MDA در رژیم دوبار آبیاری تکمیلی همراه با محلول پاشی کائولین (۱/۲۲ میکرومول در گرم ماده تر) مشاهده شد. پس از آن،

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول پاشی سدیم نیتروپروساید، کائولین و پتاسیم

بر صفات بیوشیمیایی آویشن دنیایی در شرایط دیم

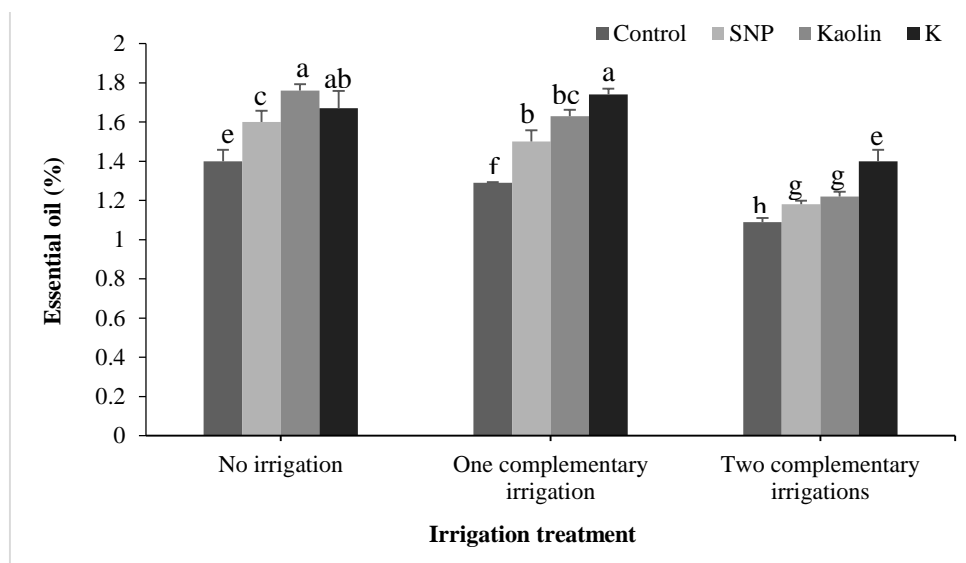
Table 5. ANOVA of complementary irrigation and foliar application of sodium nitroprusside, kaolin, and potassium effects on biochemical traits in *Thymus daenensis* under dry farming conditions

S.O.V.	d.f.	M.S.				
		Essential oil percentage	Essential oil yield	Total phenolics content	Total flavonoids content	Antioxidant capacity
Repetition	2	0.013 ^{ns}	1318.7*	200.7**	10.6**	115.4**
Irrigation (I)	2	0.519**	9726.1**	707.8**	6.4**	1115.8**
Experimental error (I)	4	0.002	51.5	11.2	0.1	2.4
Foliar spray (F)	3	0.209**	24080.4**	122.4**	4.9**	16.2**
I × F	6	0.014*	672.4*	53.1**	0.3*	62.1**
Experimental error	18	0.005	253.5	0.598	0.1	0.589
C.V. (%)	-	4.9	10.1	3.9	5.3	2.7

ns, *, and **: non-significant, significant at 5%, and 1% probability levels, respectively

تیمار شاهد موجب افزایش درصد اسانس گردید (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان عملکرد اسانس در هکتار مربوط به رژیم دو بار آبیاری تکمیلی همراه با محلول پاشی پتاسیم (۱۰/۶ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۳). کمترین مقدار عملکرد اسانس نیز، در رژیم دیم بدون هرگونه محلول پاشی (شاهد) به میزان ۵/۶۷ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. تیمار محلول پاشی پتاسیم در رژیم یک‌بار آبیاری تکمیلی نیز از نظر عملکرد اسانس، دارای عملکرد قابل قبولی بود (شکل ۳).

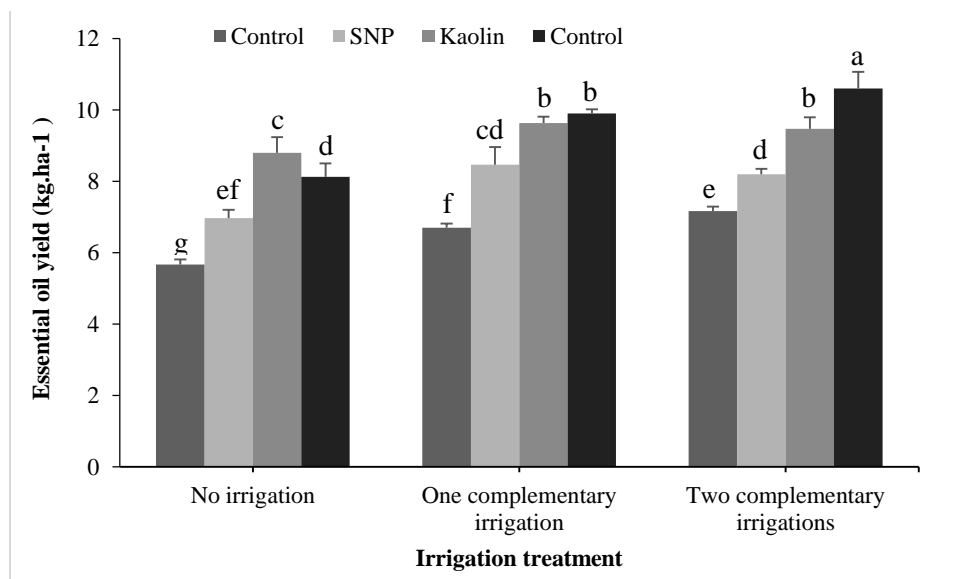
بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که افزایش تعداد آبیاری تکمیلی موجب کاهش درصد اسانس گردید (شکل ۲). کاربرد تیمارهای محلول پاشی با ترکیبات مختلف در رژیم‌های مختلف آبیاری موجب افزایش درصد اسانس در مقایسه با تیمار شاهد شد. کاربرد محلول پاشی کائولین (۱/۸٪)، پتاسیم (۱/۷٪) و SNP (۱/۶٪) در شرایط دیم به ترتیب موجب افزایش درصد اسانس در مقایسه با تیمار شاهد (۱/۴٪) شد. در رژیم‌های یک و دو بار آبیاری به ترتیب محلول پاشی پتاسیم، کائولین و SNP در مقایسه با



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول پاشی سدیم نیتروپروساید، کائولین و پتاسیم بر درصد اسانس آویشن دنايي در شرایط ديم

Figure 2. Means comparison of complementary irrigation and foliar application of sodium nitroprusside, kaolin, and potassium interactions on essential oil percentage in *Thymus daenensis* under dry farming conditions

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).
 SNP: Sodium nitroprusside, Kaolin: Kaolin clay powder, K: Potassium sulphate (K₂SO₄)



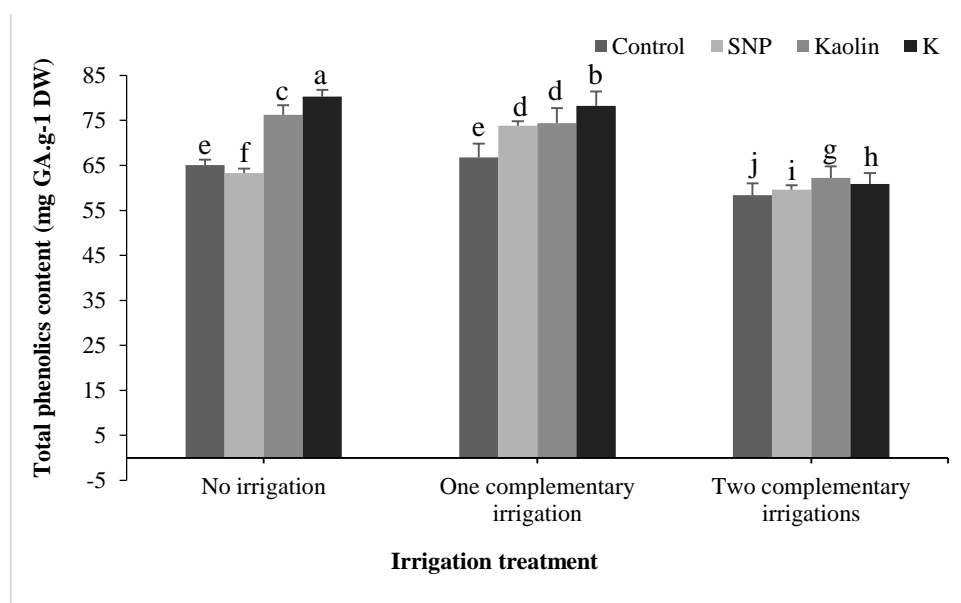
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول پاشی سدیم نیتروپروساید، کائولین و پتاسیم بر عملکرد اسانس آویشن دنايي در شرایط ديم

Figure 3. Means comparison of complementary irrigation and foliar application of sodium nitroprusside, kaolin, and potassium interactions on essential oil yield in *Thymus daenensis* under dry farming conditions

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).
 SNP: Sodium nitroprusside, Kaolin: Kaolin clay powder, K: Potassium sulphate (K₂SO₄)

محتوی فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی و برهم‌کنش آنها بر مقدار فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۵). بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که رژیم بدون آبیاری (دیم) در مقایسه با یک و دو بار آبیاری تکمیلی از میزان بالاتری فنل و فلاونوئید کل برخوردار است (شکل‌های ۴ و ۵). هرچند این افزایش برای فنل کل در کرت‌هایی که یک نوبت آبیاری شدند، تنها برای محلول‌پاشی کائولین و پتاسیم بود. از سوی دیگر، در تیمارهای محلول‌پاشی به‌ویژه

محلول‌پاشی با پتاسیم در رژیم‌های بدون آبیاری (۸۰/۳ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن خشک) و یک‌بار آبیاری تکمیلی (۷۸/۲ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم وزن خشک) به ترتیب بیشترین میزان فنل مشاهده شد (شکل ۴). کاربرد کائولین نیز در رژیم بدون آبیاری (دیم) و یک‌بار آبیاری تکمیلی موجب افزایش محتوای فنل کل شد، هرچند این میزان کمتر از تیمار محلول‌پاشی با پتاسیم بود (شکل ۴). میزان فلاونوئید کل نیز مانند فنل کل به ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی پتاسیم، کائولین و SNP در هر سه رژیم آبیاری بیشتر از تیمار شاهد بود (شکل ۵).



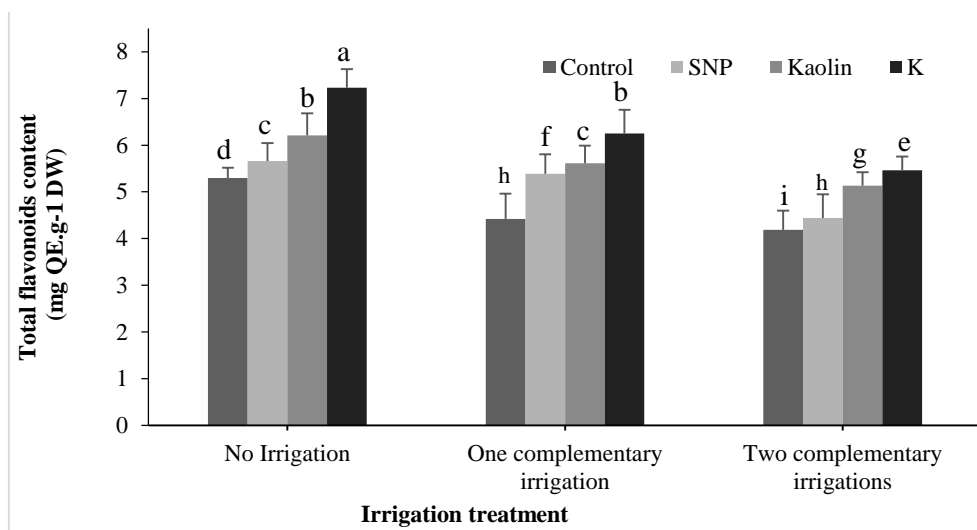
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید، کائولین و پتاسیم

بر محتوای فنل کل آویشن دنایی در شرایط دیم

Figure 4. Means comparison of complementary irrigation and foliar application of sodium nitroprusside, kaolin, and potassium interactions on total phenolics content in *Thymus daenensis* under dry farming conditions

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

SNP: Sodium nitroprusside, Kaolin: Kaolin clay powder, K: Potassium sulphate (K_2SO_4)



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول پاشی سدیم نیتروپروساید، کائولین و پتاسیم بر محتوای فلاونوئید کل آویشن دناپی در شرایط دیم

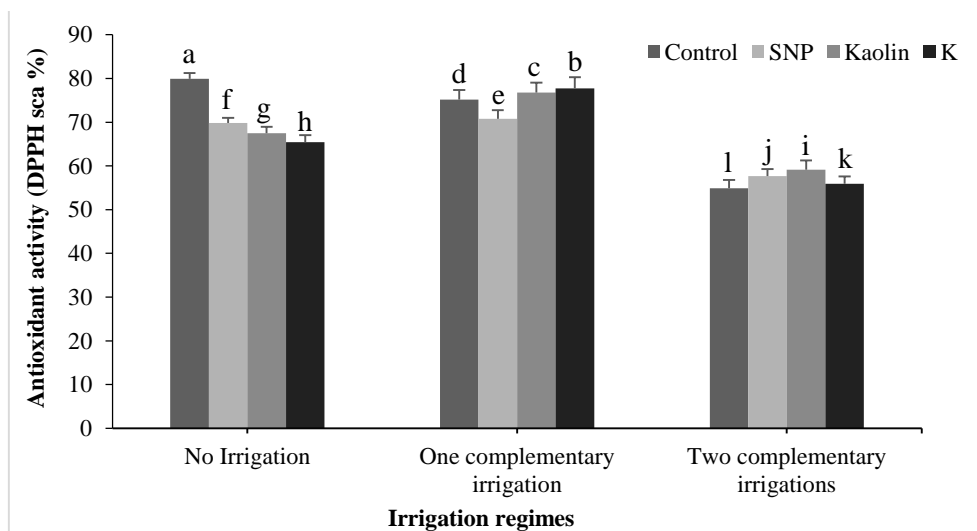
Figure 5. Means comparison of complementary irrigation and foliar application of sodium nitroprusside, kaolin, and potassium interactions on total flavonoids content in *Thymus daenensis* under dry farming conditions

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

SNP: Sodium nitroprusside, Kaolin: Kaolin clay powder, K: Potassium sulphate (K₂SO₄)

دیگر، کاربرد محلول پاشی کائولین و پتاسیم در رژیم یک بار آبیاری تکمیلی موجب افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۶).

افزایش تعداد آبیاری تکمیلی موجب کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره گیاه آویشن دناپی شد (شکل ۶). بیشترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در شرایط بدون آبیاری و بدون محلول پاشی به مقدار ۷۹/۹٪ بدست آمد. از سوی



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول پاشی سدیم نیتروپروساید، کائولین و پتاسیم بر فعالیت آنتی اکسیدانی آویشن دناپی در شرایط دیم

Figure 6. Means comparison of complementary irrigation and foliar application of sodium nitroprusside, kaolin, and potassium interactions on antioxidant capacity in *Thymus daenensis* under dry farming conditions

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

SNP: Sodium nitroprusside, Kaolin: Kaolin clay powder, K: Potassium sulphate (K₂SO₄)

بحث

براساس نتایج این آزمایش، کاربرد تیمارهای آبیاری تکمیلی و محلول پاشی با ترکیبات تعدیل کننده تنش موجب افزایش معنی دار صفات مورفولوژیک مانند قطر تاج پوشش کوچک و بزرگ، ارتفاع بوته و عملکرد ماده خشک در سطح مترمربع و هکتار شد. این صفات به ترتیب در تیمارهای محلول پاشی با کائولین، پتاسیم و SNP در تمام سطوح آبیاری عملکرد بالاتری در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند. میزان دسترسی به رطوبت خاک، مهمترین عامل در تعیین عملکرد گیاهان در مناطق نیمه خشک است. یکی از اثرهای کمبود آب، کاهش توسعه سلولی به دلیل کاهش در آماس سلول است که این موضوع موجب کاهش رشد ساقه و برگ و نیز فتوسنتز در گیاه می شود. در نتیجه، خشکی موجب کاهش رشد، ارتفاع و عملکرد گیاه می گردد (Anjum et al., 2011). پژوهش ها نشان داده است در تنش خشکی، شاخص های رشد از جمله ارتفاع گیاه و قطر تاج پوشش کاهش پیدا می کند و این کاهش به عدم رشد طولی سلول ها بر اثر تنش خشکی نسبت داده می شود (Seifzadeh et al., 2020; Anjum et al., 2011). از سوی دیگر، نتایج پژوهش های متعدد حکایت از اثر مثبت و چشمگیر کاربرد ترکیبات مختلف تعدیل کننده تنش از جمله کائولین، پتاسیم و SNP بر افزایش شاخص های رشد و عملکرد گیاهان در شرایط تنش خشکی دارد (Saeed-Mohasseli & Sadeghi, 2019; Akram et al., 2009; Brito et al., 2021). کائولین به عنوان یک ماده طبیعی، عامل مؤثر در کاهش اثر خشکی و ذخیره آب در کشاورزی است (Brito et al., 2021) که به دلیل استفاده از آن، یک پوشش روی سطح گیاه ایجاد شده و موجب می شود تلفات آب از راه تعرق کاهش یابد. همچنین، کائولین می تواند کارایی مصرف آب را افزایش، نسبت تعرق و دمای گیاه را کاهش و میانگین توده وزنی گیاه را افزایش دهد (Brito et al., 2021). در این پژوهش نیز، کاربرد محلول پاشی کائولین ۵٪ در رژیم های مختلف آبیاری، موجب افزایش شاخص های مختلف رشد و افزایش عملکرد ماده خشک

گردید؛ بنابراین، به نظر می رسد کاربرد کائولین به طور مؤثری به عنوان یک تعدیل کننده تعرق می تواند با کاهش دما، اثر تنش گرما و خشکی را کاهش و موجب ذخیره آب در تولید *T. daenensis* در شرایط دیم شود. علاوه بر کائولین، محلول پاشی پتاسیم به ویژه همراه با رژیم های مختلف آبیاری تکمیلی موجب افزایش صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه *T. daenensis* در این پژوهش شد. در شرایط خشکی، وجود پتاسیم در نگهداری آب بافت گیاهی اهمیت خاصی دارد و گزارش های زیادی در مورد تجمع آن در هنگام تنش اسمزی وجود دارد (Saeed-Akram et al., 2009; Mehrafarin et al., 2017).

تنش های مختلف از جمله خشکی و گرما با افزایش تولید رادیکال های آزاد اکسیژن در سطح سلولی، موجب آسیب غشاء های سلول و تجمع MDA می شوند (Heath & Packer, 1968). بنابراین، تعیین غلظت MDA به عنوان محصول پراکسیده شدن اسیدهای چرب غشاء، شاخص مناسبی برای بررسی مقدار اثر مخرب تنش در گیاهان در سطح سلولی است. در این آزمایش، اعمال تیمارهای آبیاری تکمیلی به همراه محلول پاشی با ترکیبات کاهنده تنش گرما و خشکی موجب کاهش مقدار MDA گیاه شد و کمترین میزان آن، به ترتیب در رژیم دو بار آبیاری تکمیلی همراه با محلول پاشی کائولین و SNP مشاهده شد. کاربرد آبیاری تکمیلی و ترکیبات تعدیل کننده تبخیر و تعرق مانند کائولین با افزایش فعالیت سیستم آنتی اکسیدان آنزیمی و غیر آنزیمی موجب کاهش آسیب اکسیداتیو در گیاهان، در تنش خشکی می شود (Brito et al., 2021). نتایج این آزمایش با نتایج Brito و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد، به طوری که در بررسی تأثیر کاربرد محلول پاشی کائولین بر عملکرد و برخی ویژگی های فیزیولوژیک درخت زیتون (*Olea europaea* L.) در رژیم کم آبیاری گزارش کردند که کائولین وضعیت آب گیاه را بهبود بخشید و با افزایش فعالیت سیستم آنتی اکسیدان آنزیمی و غیر آنزیمی توانست میزان آسیب اکسیداتیو را کاهش دهد که این موضوع موجب افزایش عملکرد میوه و روغن آن گردید. SNP هم از دیگر ترکیبات تعدیل کننده

2017) بر تولید ترکیبات مؤثره مانند اسانس و ترکیبات فنلی در گیاهان دارویی اشاره شده است.

افزایش ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش، یکی از پاسخ‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی گیاهان است. در این آزمایش در تیمارهای محلول پاشی به‌ویژه محلول پاشی با پتاسیم در کرت‌هایی که آبیاری نشدند (در شرایط دیم)، بیشترین مقدار فنل و فلاونوئید کل اندازه‌گیری شد. کاربرد کائولین نیز در رژیم بدون آبیاری (دیم) و یک‌بار آبیاری تکمیلی موجب افزایش غلظت فنل و فلاونوئید کل شد. بیشترین محتوای فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط بدون آبیاری و بدون محلول پاشی بدست آمد. افزایش درصد بازدارندگی رادیکال آزاد DPPH با طولانی شدن تنش در گیاه سرخارگل در پژوهش Asadi-Sanam و همکاران (۲۰۱۵a) هم نشان داد که با افزایش مدت زمان تنش، تنش اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی شکل می‌گیرد و موجب تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود؛ در چنین شرایطی، ستر ترکیبات فنلی که دارای نقش‌های مختلف اکولوژیک و فیزیولوژیک مانند نقش‌های دفاعی و آنتی‌اکسیدانی هستند (Andre et al., 2009)، افزایش می‌یابد. همچنین گزارش‌های متعددی وجود دارد که نشان می‌دهند ترکیبات تعدیل‌کننده تنش موجب افزایش ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌شوند (Brito et al., 2021؛ Asadi-Sanam et al., 2014). در گزارش Asadi-Sanam و همکاران (۲۰۱۵b)، بیشترین مقدار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه سرخارگل در تنش دمای پایین (۴- درجه سانتی‌گراد)، ۹۳/۰٪ در تیمار شاهد و شرایط بدون تنش بدست آمد.

براساس نتایج این آزمایش، کاربرد آبیاری تکمیلی موجب افزایش ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد ماده خشک در سطح مترمربع و هکتار شد. از سوی دیگر، محلول پاشی با ترکیبات تعدیل‌کننده تنش به‌ویژه کائولین و پتاسیم همراه با آبیاری تکمیلی موجب افزایش عملکرد اسانس در هکتار گردید. در مجموع براساس نتایج این آزمایش، استفاده از آبیاری تکمیلی با توجه به منابع آبی

تنش و رهاکننده NO (نیتریک‌اکساید) است که موجب کاهش میزان MDA در این آزمایش حاضر شد. در پژوهشی بر روی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.) Monch)، استفاده از SNP با تأثیر معنی‌دار بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان آنزیمی و غیرآنزیمی، موجب کاهش پراکسیده شدن لیپیدهای غشاء و تأخیر در تجزیه پروتئین‌ها شد (Asadi-Sanam et al., 2014).

براساس نتایج این آزمایش، افزایش دور آبیاری تکمیلی موجب کاهش درصد اسانس گردید؛ در صورتی که کاربرد محلول پاشی کائولین، پتاسیم و SNP در شرایط دیم به ترتیب موجب افزایش درصد اسانس در مقایسه با تیمار شاهد شد. علاوه بر این، بیشترین عملکرد اسانس در هکتار مربوط به رژیم دوبار آبیاری تکمیلی همراه با محلول پاشی پتاسیم بود. به‌طور معمول تشکیل و تجمع اسانس در گیاهان در شرایط محیطی گرم و خشک، تمایل به افزایش نشان می‌دهد که از آنها در مقابل تنش آبی و آسیب‌های نور زیاد محافظت می‌کند (Horwath et al., 2008). از سویی، تنش آبی بر بیوسنتز اسانس و حتی ترکیبات اسانس اثر می‌گذارد که ممکن است به دلیل تغییر در رفتار گیاه برای تولید متابولیت‌های اولیه و ثانویه باشد. در مطابقت با نتایج این آزمایش، Norozpoor و Rezvani Moqaddam (۲۰۰۵) گزارش کردند که افزایش فواصل آبیاری، عملکرد روغن و اسانس دانه سیاهدانه (*Nigella Sativa* L.) را کاهش داد؛ آنان نتیجه‌گیری کردند که اعمال تنش و قطع آبیاری، اثر منفی شدید بر مقدار عملکرد اسانس دارد. بنابراین با در نظر گرفتن سایر مسائل، می‌توان بیان کرد که به‌منظور جلوگیری از کاهش عملکرد اسانس تا حد امکان باید از قطع آبیاری (تکمیلی) در شرایط دیم خودداری کرد. از سوی دیگر، گزارش شده است که کاربرد پتاسیم موجب افزایش درصد عملکرد اسانس گیاهان دارویی می‌شود (Mehrafarin et al., 2017). در مطابقت با نتایج این آزمایش، در پژوهش‌های متعددی به اثرهای مثبت SNP (Mohasseli & Sadeghi, 2019؛ Asadi-Sanam et al., 2014)، کائولین (Brito et al., 2021) و پتاسیم (Mehrafarin et al.,

- and Rangelands. (In Persian)
- Boari, F., Donadio, A., Schiattone, M.I. and Cantore, V., 2015. Particle film technology: a supplemental tool to save water. *Agricultural Water Management*, 147: 154-162.
 - Brand-Williams, W., Cuvelier M.E. and Berset. C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant capacity. *Food Science and Technology*, 28: 25-30.
 - Brito, C., Gonçalves, A., Silva, E., Martins, S., Pinto, L., Rocha, L., Arrobas, M., Angelo Rodrigues, M., Moutinho-Pereira, J.M. and Correia, C., 2021. Kaolin foliar spray improves olive tree performance and yield under sustained deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, 277: 109795.
 - Conde, A., Pimentel, D., Neves, A., Dinis, L.T., Bernardo, S., Correia, C.M., Gerós, H. and Moutinho-Pereira, J., 2016. Kaolin foliar application has a stimulatory effect on phenylpropanoid and flavonoid Pathways in grape berries. *Frontiers in Plant Science*, 7: 01150.
 - Cosic, M., Djurović, N., Todorović, M., Maletić, R., Zečević, B. and Stričević, R., 2015. Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of sweet pepper. *Agricultural Water Management*, 159: 139-147.
 - Du, G., Li, M., Ma, F. and Liang, D., 2009. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *actinicia* fruits. *Food Chemistry*, 113: 557-562.
 - Farouk, S. and Al-Huqail, A.A., 2020. Sodium nitroprusside application regulates antioxidant capacity, improves phytopharmaceutical production and essential oil yield of marjoram herb under drought. *Industrial Crops and Products*, 158: 113034.
 - Glenn, D.M., Erez, A., Puterka, G.J. and Gundrum, P., 2003. Particle films affect carbon assimilation and yield in 'Empire' apple. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 128: 356-362.
 - Heath, L.R. and Packer, L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125: 189-198.
 - Horwath, B., Renee, J.G., Michael Keith, D. and Monique, S.J.S., 2008. Chemical characterization of wild populations of *Thymus* from different climatic regions in southeast Spain. *Biochemical Systematic and Ecology*, 36: 117-133.
 - Jamzad, Z., 2011. *Thymus* and *Satureja* of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands Press, 172p.
 - Marschner, H., 2012. Marschners's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic, London, 651p.

دردسترس به همراه محلول پاشی کائولین و یا پتاسیم برای کشت دیم آویش دنايي پیشنهاد می شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت و مساعدت مسئولان محترم مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور و دست اندرکاران ایستگاه تحقیقات مراتع همد (دماوند) برای اجرای این پژوهش، نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

References

- Andre, C.M., Schafleitner, R., Legay, S., Lefèvre, I., Hausman, J.F., Larondelle, Y. and Evers, D., 2009. Gene expression changes related to the production of phenolic compounds in potato tubers grown under drought stress. *Phytochemistry*, 70: 1107-1116.
- Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, C., Saleem, M.F., Man, C. and Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 2026-2032.
- Asadi-Sanam, S., Zavareh, M., Pirdashti, H., Mirjalili, M.H. and Hashempour, A., 2014. Effect of exogenous nitric oxide on germination and some of biochemical characteristics of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) in saline condition. *Iranian Journal of Plant Biology*, 6(20): 55-74. (In Persian)
- Asadi-Sanam, S., Zavareh, M., Pirdashti, H., Sefidkon, F., Nematzadeh, Gh.A. and Hashempour, A., 2015a. Changes in some biochemical characteristics of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) medicinal plant in response to planting date and soil flooding duration. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(2): 315-331. (In Persian)
- Asadi-Sanam, S., Zavareh, M., Pirdashti, H., Sefidcan, F. and Nematzadeh, G.A., 2015b. Evaluation of biochemical and physiological responses of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) medicinal plant to low temperature stress. *Journal of Plant Process and Function*. 4(12): 11-28. (In Persian)
- Babae, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S. and 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 Research*, 26(2): 239-251. (In Persian)
- Bakhtiari, M., 2012. Investigation of genetic diversity, compatibility, selection and introduction of the most suitable germplasm of some species of the genus *Thymus*. Final report, Research Institute of Forests

- SAS Institute., 2002. SAS/STAT user's Guide, Release G. 12. SAS Institute Cary, North Carolina, USA.
- Seifzadeh, A.R., Khaledian, M.R., Zavareh, M., Shahinrokhsar, P. and Damalas, C.A., 2020. European Borage (*Borago officinalis* L.) Yield and Profitability under Different Irrigation Systems. *Agriculture*, 10: 2-13.
- Siddiqui, M.H., Alamri, S., Alsubaie, Q.D., Ali, H.M., Khan, M.N., Al-Ghamdi, A., Ibrahim, A.A. and Alsadon, A., 2020. Exogenous nitric oxide alleviates sulfur deficiency- deficiency-induced oxidative damage in tomato seedlings. *Nitric Oxide*, 94: 95-107.
- Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R.S., 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin- Ciocalteu Reagent. *Methods in Enzymology*, 299: 152-178.
- Solowey, E., 2010. Arboreal pastures. 106-123, In: Solowey, E. (Ed.) *Growing Bread on Trees: The Case for Perennial Agriculture*. Biblio Books Israel, Acco, Israel/Biblio Books International, Miami, Florida, 378p.
- Soultani, M., Liaghat, A.M. and Sotoodehneia, A., 2012. Conjunctive effect of planting date and time of supplementary irrigation on water productivity of Lentil in rainfed conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 43(3): 243-248. (In Persian)
- Stahl-Biskup, E. and Holthuijzen, J., 1995. Essential Oil and glycosidically bound volatiles of lemonscented thyme *Thymus × citriodorus* (Pers). *Flavour and Fragrance Journal*, 10(3): 225-229.
- Thygesen, L., Thulin, J., Mortensen, A., Skibsted, L.H. and Molgaard, P., 2007. Antioxidant activity of cichoric acid and alkamides from *Echinacea purpurea* alone and in combination. *Food Chemistry*, 101: 74-81.
- Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., Mirzai Motlagh, M., Salehi, M. and Ghiasi Yekta, M., 2017. Phytochemical and Morphophysiological Responses of Dill (*Anethum graveolens* L.) to Foliar Application of Potassium Sulfate and Methanol Bio stimulant. *Journal of Medicinal Plants*, 16(64): 93-108. (In Persian)
- Mohasseli, V. and Sadeghi, S., 2019. Exogenously applied sodium nitroprusside improves physiological attributes and essential oil yield of two drought susceptible and resistant specie of *Thymus* under reduced irrigation. *Industrial Crops and Products*, 130: 130-136.
- Mousavi, Sh., Asadi-Sanam, S. and Pezhmanmehr, M., 2019. Changes in morpho-physiological characteristics and the leaf and flower essential oils 690ield of coneflower [*Echinacea purpurea* (L.) Moench] with sodium nitroprusside (SNP) foliar application under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(2): 375-391. (In Persian)
- Nikavar, B., Mojab, F. and Doulatabadi, R., 2005. Composition of the volatile oil of *Thymus daenensis* Celak. subsp. *daenensis*. *Journal of Medicinal Plants*, 4(13): 45-49. (In Persian)
- Norozpoor, G. and Rezvani Moqaddam, P., 2005. The effect of different irrigation periods and plant density on Black seed (*Nigella sativa*) yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(2): 305-315. (In Persian)
- Oweis, T., Hachum, A. and Pala, M., 2004. Water use efficiency of winter- sown chickpea under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, 66: 163-179.
- Raey, Y., Demaghi, N. and Seied Sharifi, R., 2007. Effect of different levels of irrigation and plant density on grain yield and its components in chickpea (*Cicer arietinum* L.) Deci type cv. Kaka. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 9(4): 371-381. (In Persian)
- Rechinger, K.H., 1982. *Flora Iranica*. Akademische druck-und verlagsanstalt, Austria, No. 152.
- Saeed-Akram, M., Ashraf, M. and Aisha Akram, N., 2009. Effectiveness of potassium sulfate in mitigating saltinduced adverse effects on different physiobiochemical attributes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Flora*, 204: 471-483.