University of Birjand

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

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 2, pp. 467-485 (Summer 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2023.4746.2064

Original article

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

A.K. Negari[1,2], M. Jami Al-Ahmadi[3,4*], G. Zamani[3,4]

1. PhD student in Agronomy Department, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
2. Researcher, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran
3. Faculty member, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
4. Plant and Environmental Stresses Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran

Received 9 October 2021; Accepted 4 December 2021

Extended abstract

Introduction

Medicinal plants contain rich storages of secondary metabolites or active compounds which are strongly affected by environmental factors, especially drought stress, and also by hormones and their derivatives. Thyme genus has more than 215 species in the world, of which 18 species have been identified in Iran. Thymus vulgaris is one of the main medicinal plants that is cultivated in the most countries. Its main components include Thymol and Carvacrol which have antibacterial, antifungal and antioxidant activity and these compounds can be effective in reducing the symptoms of COVID-19. The levels of moisture supply and elicitors like Coronatine (COR), Methyl Jasmonate (MJ) and Cyclodextrin (CYC) can be effective on the quantitative and qualitative yield.

Materials and methods

This investigation was conducted as split plot based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications in the farm of Research Station of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Education and Research Center which is placed at 5th km Southeast of Mashhad in Iran. The main plots included three levels of moisture supply (at 40%, 65% and 90% field capacity (FC)) and the sub plots were elicitor levels included (1) control without elicitor, (2) 150 µM cyclodextrin (CYC) (3) 75 nM coronatine (COR) + 150 µM CYC (4) 150 nM COR + 150 µM CYC (5) 150 µM methyl jasmonate (MJ) + 150 µM CYC (6) 300 µM MJ + 150 µM CYC. The seeds were sowed in pro-trays which were filled from peat moss on 24 March 2019. After the germination, two seedlings were held in each cell of portray for transplanting to the field. The seedlings were transplanted to each point of cultivation on 24 May 2019. The treatments of the moisture supply were applied 45 days after transplanting the seedlings. In order to apply moisture treatments, at the first, FC was determined by farm and pressure plate method. With sampling the soil of plots (mean of two sample 0-15 cm and 15-30 cm) for several times, was determined the irrigation date. Elicitor treatments were applied two times; the first was 45 days after transplanting and the second was two months later. The plants were harvested two weeks after the last elicitor spraying.

* Corresponding author: Majid Jami Al-Ahmadi; E-Mail: mjamialahmadi@birjand.ac.ir

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Results and discussion

The largest crown diameter was observed in interaction of elicitor treatments and the levels of moisture supply at 90% FC.The highest leaf proline content (from 5.5 to 5.8 µmol g^{-1} fresh leaves) was observed in interaction of 4 levels with elicitor treatment (levels 3, 4, 5 and 6) at the level of moisture supply 40% FC that placed in one group. The highest and lowest electrolyte leakage (47.6% and 22.1%, respectively) were related to interaction of the control treatment at the level of moisture supply of 40% FC and the treatment of 150 µM MJ + 150 µM CYC at the level of moisture supply 90% FC. The highest yield of dry herb and leaves and essential oil (5.64 and 3.2 t ha^{-1} and 65.9 kg ha^{-1} respectively) was obtained under moisture supply at 90% FC. Except the percentage of essential oil, there was a significant correlation between all measured traits including crown diameter, height, electrolyte leakage, proline content, relative water content of leaf, fresh and dry yield of herb, dry leaf and stem yield and essential oil yield. Although the interaction of the treatments affected some physiological traits, but the quantitative and qualitative yield of the plants were affected by moisture levels.

Conclusion

As a result, drought stress and elicitors can effect on plant performance; morphological, physiological and chemical dynamics. In this study, suppling moisture levels had an impotent effect on biological yield and this indicator caused to increase essential oil yield. Elicitors and interaction of treatments had a significant effect on some physiological characteristics.

***Keywords*:** Essential oil, Medicinal plants, Plant hormones, Secondary metabolites, Stress

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2023.4746.2064

مقاله پژوهشی

بررسی پاسخ آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) به الیسیتورهای کروناتین، متیل جاسمونات و سیکلودکسترین در سطوح مختلف تأمین رطوبت در شرایط مزرعه

عبدالکریم نگاری[۱،۲]، مجید جامی‌الاحمدی[۳،۴*]، غلامرضا زمانی[۳،۴]

۱. دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۲. پژوهشگر مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد
۳. عضو هیئت‌علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۴. گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
اسانس
تنش
گیاهان دارویی
متابولیت‌های ثانویه
هورمون‌های گیاهی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۹/۱۳

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۲

۱۶(۲): ۴۶۷-۴۸۵

چکیده

تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی از طریق تأثیر بر فرایندهای فیزیولوژیکی و فیتوهورمون‌ها سنتز مواد مؤثره گیاهی را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهند. در این راستا آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مشهد روی گیاه آویشن باغی اجرا شد. کرت اصلی شامل سه سطح تأمین رطوبت (در ۴۰، ۶۵ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) و کرت فرعی سطوح الیسیتوری شامل (۱) شاهد عدم کاربرد، (۲) ۱۵۰ میکرومولار سیکلودکسترین، (۳) ۷۵ نانومولار کروناتین + ۱۵۰ میکرومولار سیکلودکسترین، (۴) ۱۵۰ نانومولار کروناتین + ۱۵۰ میکرومولار سیکلودکسترین، (۵) ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات + ۱۵۰ میکرومولار سیکلودکسترین و (۶) ۳۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات + ۱۵۰ میکرومولار سیکلودکسترین بودند. بالاترین میزان محتوای پرولین برگ (از ۵/۵ تا ۵/۸ میکرومول بر گرم برگ تازه) در برهمکنش ۴ سطح دارای تیماری الیسیتور (سطوح ۳، ۴، ۵ و ۶) تحت سطح تأمین رطوبت در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در یک گروه، مشاهده شدند. بیشترین و کمترین نشت الکترولیت‌ها (به ترتیب ۴۷/۶ و ۲۲/۱ درصد) مربوط به برهمکنش تیمارهای الیسیتوری کنترل در سطح تأمین رطوبت ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار ۱۵۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات + ۱۵۰ میکرومولار سیکلودکسترین در سطح تأمین رطوبت در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود. بیشترین عملکرد خشک سرشاخه، برگ و اسانس (به ترتیب ۵/۶۴، ۳/۲ تن و ۶۵/۹ کیلوگرم در هکتار) تحت تأمین رطوبت در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد. به‌غیراز درصد اسانس، همبستگی بسیار معنی‌داری بین کلیه صفات اندازه‌گیری شده شامل قطر تاج پوشش، ارتفاع، نشت الکترولیت‌ها، محتوای پرولین، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد تر و خشک سرشاخه، عملکرد خشک برگ و ساقه و عملکرد اسانس برقرار بود. اگرچه برهمکنش تیمارها بر برخی صفات فیزیولوژیکی تأثیرگذار بود اما عملکرد کمی و کیفی گیاهان تحت تأثیر سطوح رطوبتی قرار گرفتند.

مقدمه

جنس آویشن[1] دارای بیش از ۲۱۵ گونه در جهان است که ۱۸ گونه آن در ایران شناسایی شده است (Jamzad, 2009). آویشن باغی گیاهی چندساله، شبه درختچه‌ای (Hornok, 1988)، پوششی، نسبتاً همیشه‌سبز (Prasanth Reddy et al., 2014) و بومی منطقه جنوب اروپا (حاشیه مدیترانه) بوده که از قدرت سازگاری محیطی گسترده‌ای برخوردار است (Stahl-Biskup and Sáez, 2002). آویشن‌ها با دارا بودن خواصی همچون ضد رماتیسم، ضدعفونی‌کننده، ضد اسپاسم، کمک به رفع نارسایی‌های قلبی، مدر، تقویت‌کننده سیستم ایمنی، کمک درمان سرماخوردگی (Nikolic et al., 2014)

[1] Thymus

* نگارنده پاسخگو: مجید جامی‌الاحمدی. پست الکترونیک: mjamialahmadi@birjand.ac.ir

و برای کاهش اثرات بیماری ویروس کرونا[2] مفید است (Wani et al., 2020).

تنش کمبود آب عامل اجتناب‌ناپذیری است که در بسیاری از نقاط دنیا بدون هیچ‌گونه مرزبندی و علائم آشکاری باعث کاهش کمیت، کیفیت و انرژی زیست‌توده گیاهی می‌گردد. برای تحمل به کمبود آب، گیاهان مکانیسم‌های سازگاری مختلفی را، ازجمله واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی که بسته به نوع گونه متفاوت است، کسب می‌کنند (Seleiman et al, 2021). در تنش خشکی هورمون‌ها به‌عنوان مکمل‌هایی برای فراهم نمودن زمینه‌های لازم برای تحمل به تنش عمل می‌نمایند (Kafi et al., 2014).

تولید متابولیت‌های ثانویه اغلب گیاهان کم بوده (کمتر از ۱ درصد وزن خشک گیاه) و به مقدار قابل‌توجهی به مراحل تکوین و فیزیولوژی گیاه بستگی دارد (Oksman-Caldentey and Inze, 2004). تحریک گیاهان یکی از مؤثرترین تکنیک‌های جدید مورداستفاده برای بهبود تولیدات بیوتکنولوژی متابولیت‌های ثانویه است. الیسیتورها ترکیباتی هستند که باعث تحریک سیستم دفاعی کلیه گیاهان و تشدید ساخت متابولیت‌های ثانویه برای حفاظت سلول و اندام‌های گیاه می‌شوند (Klarzynski and Friting, 2001; Baenas et al., 2014).

کروناتین یک توکسین[3] ساخته‌شده توسط پاتوژن *Pseudomonas syringae* است که عملکردی مشابه هورمون گیاهی فعال (+)-7- ایزو-جاسمونیل-ال-ایزولوسین[4] دارد که پاسخ‌های تنشی را تنظیم می‌کند. کروناتین ترکیبی از واحد اسید کرونافاسیک[5] و اسید کرونامیک[6] است که با یک آمید پیوند برقرار کرده‌اند (Littleson et al., 2016) و اخیراً به خاطر پتانسیل عمل در تنظیم رشد و تحریک متابولیت‌های ثانویه، بسیار موردتوجه قرار گرفته است (Onrubia, 2012). آپالاپاتی و همکاران (Uppalapati et al., 2005) در مطالعه‌ای روی گوجه‌فرنگی نتیجه گرفتند که کروناتین با متیل جاسمونات، کرونافاسیک اسید و کرونامیک اسید در بیان بعضی ژن‌ها با یکدیگر همپوشانی دارند، به‌طوری‌که این عامل باعث دامنه کارکردی گسترده کروناتین گردیده است.

اسید جاسمونیک ترکیبی مشتق از اسید چرب لینولئیک اسید که به روش اکتادیکانوئید[7] سنتز می‌شود. مهم‌ترین نقش اسید جاسمونیک ممانعت از پیری و ریزش برگ گیاه است (Rubio et al., 2009). به‌طورکلی در سنتز آنتی‌اکسیدان‌ها نیز سه هورمون اتیلن، سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید نقش دارند (Kafi et al., 2014).

سیکلودکسترین‌ها[8] یک خانواده از سیکل‌های ترکیبی اولیگوساکاریدها با مولکول‌های حلقوی بوده کـه از اتصـال ۶، ۷ یـا ۸ مولکول گلوکز ایجاد و به‌ترتیب α، β و γ- سیکلودکســـترین نامیـــده می‌شوند. سیکلودکسترین‌ها عامل کلات کنندگی مولکول‌های مفید هستند. آن‌ها دارای ساختار شبکه‌ای قفس مانند می‌باشند (Dell-Valle, 2003).

نتایج بررسی اثر تنش خشکی (روی گیاهان یک‌ماهه با قطع آبیاری تا زمان خشکیدگی گیاهان) بر رشد و تغییرات هورمونی گیاهان آویشن نشان داده که در آویشن باغی اسید جاسمونیک به میزان ۱۳۲ درصد و اسید سالیسیلیک ۲۴۲ درصد افزایش و نئوگزانتین (پیش ساز آبسیزیک اسید) ۶۲ درصد و جیبرلین ۳۶ درصد کاهش معنی‌داری داشته‌اند که به نظر می‌رسد پاسخ نهایی گیاه به تنش کم‌آبی درنتیجه اثرات متقابل بین همه هورمون‌ها بروز می‌نماید (Moradi, 2018).

بر اساس گزارش‌ها کاربرد کروناتین تحت تنش خشکی طولانی‌مدت روی گیاهچه‌های ذرت به‌طور معنی‌داری فتوسنتز، تعرق و محافظت از رنگ‌دانه کلروفیل را افزایش داده است، علاوه بر آن فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و گلوتاتیون رداکتاز را بسیار افزایش داده است (Wang et al., 2008). بر اساس مطالعات انجام‌شده کروناتین متابولیت‌های ثانویه را در کشت سلولی در غلظت کمتر از متیل جاسمونات فعال می‌کند. درکشت سلولی فندق[9] غلظت بسیار پایین کروناتین (یک میکرومولار) در برابر متیل‌جاسمونات (۱۰۰ میکرومولار) باعث افزایش تاکسان[10] به ترتیب ۲۷ و ۳ برابر شاهد شده است. (Gallego et al., 2015). در گونه‌ای از جنس سرخدار[11] کاربرد کرونانین در غلظت یک میکرومولار اثر قابل‌توجهی بر ساخت تاکسان داشت. به‌طوری‌که باعث افزایش ۴ تا ۱۰ برابر در مقایسه با کشت سلولی در شرایط

[2] COVID-19
[3] Toxin
[4] (+)-7-iso-jasmonoyl-l-isoleucine (JA-IIe)
[5] Coronafacic Acid
[6] Coronamic Acid
[7] Octadicanoid
[8] Cyclodextrins
[9] *Corylus avellana*
[10] Taxane
[11] *Taxus media*

کنترل‌شده با ۱۰۰ میکرومول متیل جاسمونات شد (Onrubia, 2012). در کشت سلولی گزنه سفید[12]، کروناتین باعث افزایش سطح پدوفیلوتوکسین و ۶-متیل‌پدوفیلوتوکسین گردیده است (Alfermann, 2018). بررسی‌ها نشان می‌دهد که متیل جاسمونات و سیکلودکسترین القای مؤثری بر متابولیت‌هایی ثانویه گیاهان داشته‌اند به‌طوری‌که تاکسول بیوسنتزی در گیاه سرخدار[13] به‌صورت واضح باوجود جاسمونات و سیکلودکسترین به حد ۵۵ برابر نسبت به تیمار بدون الیسیتور افزایش پیدا کرده است (Sabater-Jara et al., 2014).

هدف از این پژوهش پیدا کردن سطح مطلوب رطوبت خاک برای رسیدن به حداکثر عملکرد کمی و کیفی و بررسی اثرات و کارآمدی سطوح الیسیتوری بر درصد و عملکرد اسانس گیاه آویشن باغی و همچنین بررسی مقایسه اثرات متقابل در آزمایش موردنظر بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در طی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی واقع در پنج کیلومتری جنوب شرقی مشهد، به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از سه سطح تأمین رطوبت در مزرعه بر اساس تأمین رطوبت تا ظرفیت زراعی (FC) پس از تخلیه رطوبتی ۴۰، ۶۵ و ۹۰ درصد ظرفیت رطوبتی خاک مزرعه در کرت‌های اصلی و ۶ سطح تیمار الیسیتوری که در کرت‌های فرعی واقع شدند، شامل (۱) شاهد بدون الیسیتور، (۲) ۱۵۰ میکرومولار سیکلودکسترین، (۳) ۷۵ نانومولار کروناتین + ۱۵۰ میکرومولار سیکلودکسترین، (۴) ۱۵۰ نانومولار کروناتین +۱۵۰ میکرومولار سیکلودکسترین، (۵) ۱۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات + ۱۵۰ میکرومولار سیکلودکسترین و (۶) ۳۰۰ میکرو مولار متیل جاسمونات + ۱۵۰ میکرو مولار سیکلودکسترین..

کشت بذور آویشن باغی، که با همکاری شرکت کیمیاگر طوس از آلمان تهیه شده بود، در اسفندماه (۱۳۹۷/۱۲/۲۵) در سینی‌های کشت صورت گرفت. پس از سبز شدن در هر حفره دو نشاء جهت انتقال نگه داشته شد.

پس از آماده‌سازی زمین ردیف‌ها به فاصله ۵۰ سانتیمتر، ابعاد کرت‌ها ۲×۳ متر، فاصله بین کرت‌های اصلی ۱۵۰ سانتیمتر (سه ردیف نکاشت) و فاصله بین کرت‌های فرعی نیم متر (یک ردیف نکاشت) و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک موردنظر در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

Table 1. Physico-chemical properties of soil (0-30 cm in depth) of experimental field.

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	مواد خنثی شونده T.N.V	کربن آلی Organic carbon	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	نیتروژن کل N_{total}	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
	$dS.m^{-1}$	---------- % ----------					---------- ppm ----------						
7.9	0. 93	18.9	0.37	41	42	17	0.041	18.4	190	1.46	7.56	1.48	0.64

عملیات انتقال نشاءها در تاریخ سوم خردادماه با لحاظ نمودن فاصله ۲۰ سانتیمتر روی ردیف‌ها صورت گرفت. در هر نقطه کشت یک حفره از سینی (حاوی ۲ عدد نشاء) کشت گردید.

به‌منظور تأمین عناصر غذایی یک نوبت کوددهی (۱۳۹۸/۰۵/۰۱) با کود اوره (۴۰ کیلوگرم در هکتار)، کود آهن (EDDHA-Fe 6% (ortho-ortho 4.2)) ۱۰ کیلوگرم در هکتار و کود سولو پتاس (سولفات پتاسیم) (K_2O 50%, SO_3 45%, S 18%) ۱۰ کیلوگرم در هکتار همراه با آب آبیاری به خاک اضافه شد.

جهت اعمال تیمارهای سطوح رطوبتی ابتدا ظرفیت زراعی زمین تحت کشت به روش صحرایی و صفحات فشاری تعیین (۱۶/۵ درصد وزنی و ۲۴/۷ درصد حجمی) و سپس اعمال تیمارهای سطوح تأمین رطوبتی ۴۵ روز پس از انتقال بر اساس تخلیه رطوبت ناحیه ریشه (به‌صورت وزنی ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی با نمونه‌گیری خاک از صفر تا ۱۵

[12] *Lamium album*

[13] *Taxus baccata*

سانتی‌متر و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر و محاسبه میانگین آن و سپس تأمین آب تا ظرفیت زراعی خاک مزرعه) با پایش دائمی کرت‌ها صورت گرفت. برای تنظیم حجم آب ورودی کرت‌ها از کنتور استاندارد استفاده گردید.

۴۵ روز پس از انتقال (۱۳۹۸/۰۴/۱۷) اولین نوبت محلول‌پاشی هم‌زمان با شروع تیماردهی سطوح رطوبتی بود و دومین نوبت محلول‌پاشی دو ماه بعد انجام شد. در مورد محلول‌پاشی‌ها ابتدا محلول استوک (مادر) کروناتین، متیل جاسمونات و سیکلودسکترین تهیه سپس به حجم معین رسانده و بر مبنای ۵۰۰ لیتر در هکتار و با استفاده از سم‌پاش دستی محلول‌پاشی صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری صفات محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت‌ها و محتوای پرولین برگ از کلیه تیمارهای آزمایشی ۴۸ ساعت قبل از برداشت و قبل از آبیاری (زمانی که آبیاری سه سطح رطوبتی همپوشانی داشت و هم‌زمان باید صورت می‌گرفت) در یک روز (۱۳۹۸/۰۶/۲۹) نمونه‌برداری از چهار جهت گیاه با استفاده از قیچی انجام و نمونه‌ها بلافاصله در فلاکس حاوی یخ قرار گرفتند.

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، پس از نمونه‌گیری در سایه و هوای نسبتاً معتدل، برگ‌ها از ساقه جدا و سریعاً یک گرم از هر نمونه با ترازو (۰/۰۰۰۱± گرم) وزن و آزمایش طبق روش ریچی و همکاران (Ritchie et al., 1990) انجام شد.

جهت ارزیابی میزان نشت الکترولیت‌ها، یک گرم از نمونه‌های برگی توزین و آزمایش بر اساس روش پیشنهادی شی و شینگ (Shi and Sheng, 2005) صورت پذیرفت. سنجش محتوای پرولین برگ به روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) آزمایش انجام شد. دستگاه‌های مورداستفاده اسپکتروفتومتر JENWAY 6105 U.V./VIS. ساخت کشور انگلستان و بن‌ماری Memmert نوع Type:WB10 ساخت کشور آلمان و مواد شیمیایی سولفوسالسیلیک اسید، پرولین، اسید استیک گلاسیال، اسید فسفریک و تولوئن از شرکت Merck آلمان بودند.

جهت بررسی عملکرد کمی و کیفی دو هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی (۱۳۹۸/۰۶/۳۱) گیاهان برداشت و پس از توزین در فضای طبیعی زیر سایبان (با تور ۵۰ درصد) در داخل کیسه‌هایی از جنس متقال (با تراکم مناسب و هوادهی مرتب) خشک شدند.

به‌منظور استخراج اسانس آویشن باغی از سیستم تقطیر با آب (دستگاه کلونجر) استفاده گردید. در این روش ابتدا گیاهان در سایه خشک‌شده و سپس برگ و ساقه گیاهان را تفکیک نموده و برای اسانس گیری نمونه‌ها از ۴۰ گرم برگ خشک استفاده شد. زمان اسانس گیری پس از رسیدن به نقطه‌جوش دو ساعت و نیم بود. برای آبگیری اسانس از سولفات سدیم (شرکت Merck آلمان) استفاده شد. وزن اسانس برحسب وزن خشک واقعی برگ در درجه حرارت استاندارد برای گیاهان اسانس‌دار (دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد) محاسبه گردید.

تجزیه آماری داده توسط نرم‌افزار SAS (V. 9.1) انجام و مقایسات میانگین بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت. برای برش‌دهی برهمکنش‌ها از نرم‌افزار SAS و جهت رسم نمودارها از Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

قطر تاج پوشش

تجزیه واریانس قطر تاج پوشش آویشن باغی بیانگر اختلاف معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۵$) تحت تأثیر برهمکنش دو تیمار بود (جدول ۲). بر این اساس برش‌دهی اثرات متقابل صورت گرفت و قطر تاج پوشش سطوح الیسیتوری در دو سطح تأمین رطوبت در ۹۰ و ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی به‌طور جداگانه اختلاف معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) نشان داد اما در سطح تأمین رطوبت در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک اثر معنی‌دار به دست نیامد (جدول ۲). در برهمکنش تیمار الیسیتور و سطح تأمین رطوبت در تخلیه ۹۰ درصد ظرفیت زراعی چهار سطح الیسیتوری (سطح ۲، ۳، ۴ و ۵) در بالاترین گروه قطر تاج پوشش قرار گرفتند و چهار سطح (۱، ۲، ۴ و ۶) در گروه بعدی بودند بنابراین دو سطح ۳ و ۵ نسبت به بقیه سطوح الیسیتوری از کارآمدی بیشتری برخوردار بودند. در سطح تأمین رطوبت در ۶۵ درصد ظرفیت زراعی ۴ سطح الیسیتوری (سطوح ۲، ۴، ۵ و ۶) در بالاترین گروه و ۵ سطح در گروه بعدی قرار گفتند به‌بیان‌دیگر فقط سطح ۵ الیسیتورها (۷۵ میکرومولار متیل‌جاسمونات + ۱۵۰ میکرو مولار سیکلودکسترین) با بقیه سطوح الیسیتوری همپوشانی نداشت و در بالاترین گروه جایگاه خود را حفظ نمود.

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات سطوح تأمین رطوبت، الیسیتورها (کروناتین، متیل جاسمونات و سیکلودکسترین) و برهمکنش آن‌ها بر صفات مورد ارزیابی آویشن باغی (Thymus vulgaris) در شرایط مزرعه

Table 2. The variance analysis (mean squares) of effects of levels of moisture supply, elicitors (Coronatine, Methyl jasmonate and Cyclodextrin) and their interaction on studied traits of Thyme (Thymus vulgaris) under farm conditions.

S.O.V منابع تغییرات	درجه آزادی df	ارتفاع Height	قطر تاج پوشش Crown diameter	نشت الکترولیت‌ها Electrolyte leakage	محتوای پرولین Proline content	محتوای نسبی آب Relative water content
Block بلوک	2	11.59^{ns}	15.19^{ns}	51.38*	0.09^{ns}	17.81^{ns}
levels of moisture supply (M) سطوح تأمین رطوبت	2	147.28*	267.36*	494.54**	44.08**	549.43**
Error a خطای a	4	9.25	17.17	2.011	0.161	9.03
Elicitors (E) الیسیتور	5	7.18^{ns}	3.14^{ns}	156.32**	4.33**	5.24^{ns}
M × E سطوح تأمین رطوبتی× الیسیتور	10	4.44^{ns}	12.73*	38.48**	0.432**	6.09^{ns}
Error b خطای b	30	6.71	4.78	0.929	0.131	19.184
CV% ضریب تغییرات (٪)		*10.71*	*7.588*	*3.11*	*9.97*	*5.89*
برش‌دهی برهمکنش سطوح الیسیتوری در هر سطح رطوبتی Slicing the interaction of elicitor levels in each of the level of moisture supply	سطوح تخلیه رطوبت Moisture depletion levels					
90%	5		11.24*	12.74**	1.53**	
65%	5		10.14*	87.91**	1.49**	
40%	5		7.12^{ns}	132.62**	2.17**	

Table 2. Containued **جدول ۲. ادامه**

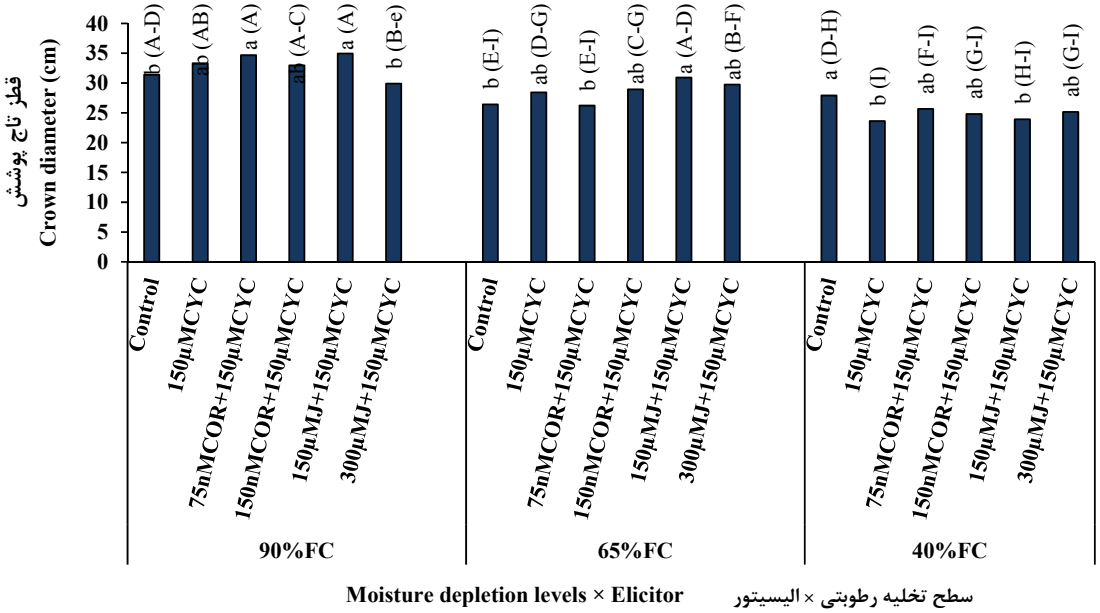
S.O.V منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد تر سرشاخه Fresh weight of herb	عملکرد خشک سرشاخه Dry Weight of herb	عملکرد خشک برگ Dry Weight of leaves	عملکرد خشک ساقه Dry Weight of stems	درصد اسانس Essential oil percent	عملکرد اسانس Essential yield
Block بلوک	2	6.95^{ns}	0.094^{ns}	0.001^{ns}	0.075^{ns}	0.22^{ns}	55.90^{ns}
Moisture depletion levels (M) سطوح تخلیه رطوبت	2	438.65**	30.52**	4.54*	11.77**	0.10^{ns}	2698*
Error a خطای a	4	5.613	0.778	0.326	0.152	0.140	277.7
Elicitors (E) الیسیتور	5	2.28^{ns}	0.308^{ns}	0.099^{ns}	0.113^{ns}	0.44^{ns}	90.6^{ns}
M × E سطوح تأمین رطوبتی× الیسیتور	10	4.07^{ns}	0.424^{ns}	0.131^{ns}	0.143^{ns}	0.88^{ns}	194.3^{ns}
Error b خطای b	30	4.71	0.367	0.087	0.119	0.080	125.8
CV% ضریب تغییرات (٪)		*17.76*	*14.36*	*13.98*	*16.39*	*11.05*	*20.66*

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱، عدم معنی‌داری.

*,** and ^{ns} significant at 0.05 and 0.01 probability levels, and not significantly, respectively.

به‌طورکلی در زمان پایین آمدن سطح رطوبتی خاک و به دنبال آن کاهش رطوبت گیاه خسارت وارده می‌تواند به شکاف خوردن غشاهای سلول، رسوب محتوای آن (Blackman, 1995)، اختلال در تنظیم اسمزی سلول، تجمع اسید

آبسیزیک و مواد محلول و کاهش فرایندهای؛ فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، ساخت پروتئین‌ها و دیواره سلولی بیانجامد (Levitt, 1980; Brar et al., 1990; Taiz et al., 2015). روند اثرات متقابل نشان داد که در سطح رطوبتی ۹۰ درصد ظرفیت زراعی الیسیتورها به‌جز تیمار ۳۰۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات + ۱۵۰ میکرو مولار سیکلودکسترین تا حدی توانسته تحمل گیاه را در برابر تنش‌های محیطی (به‌غیراز رطوبت که در حد مطلوب بوده) مانند تنش دما، شدت نور، اشعه ماوراءبنفش و... نسبت به شاهد این سطح بالا ببرند و از تاج پوشش بالاتری برخوردار گردند (شکل ۱).



شکل ۱. اثرمتقابل الیسیتورها (کروناتین=COR، متیل جاسمونات= MJ و سیکلودکسترین=CYC) در هر سطح تخلیه رطوبت، بر قطر تاج پوشش آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) در شرایط مزرعه. میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک (حروف بزرگ لاتین) هستند بر اساس آزمون دانکن ا اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند. (حروف کوچک مقایسات برش‌دهی را نشان می‌دهد).

Fig. 1. The interaction of elicitors (Cor=Coronatine, MJ=Methyl jasmonate and Cyc=Cyclodextrin) at each level of moisture depletion on crown diameter of thyme (*Thymus vulgaris*) under farm conditions. Means with the same letters are not significantly difference according to Duncan test (capital letter) at 5% level. (The small letters show the comparisons of slicing).

ارتفاع

بر اساس نتایج تجزیه واریانس ارتفاع آویشن باغی تحت تأثیر سطوح مختلف تخلیه رطوبت قرار گرفت ($P\leq0.01$) اما الیسیتورها و اثرمتقابل تیمارها اثر معنی‌داری بر این شاخص نداشتند (جدول ۲). بیشترین ارتفاع مربوط به سطح تأمین رطوبتی پس از تخلیه ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود که ارتفاع گیاهان در سطوح ۶۵ و ۴۰ درصد نسبت به سطح تخلیه رطوبت در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۹ و ۲۱/۲ درصد کاهش یافت (جدول ۳). رطوبت یکی از شاخص‌های مهم خاک است که رشد و توسعه گیاهان را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر اساس مطالعات انجام‌شده تنش رطوبتی باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع آویشن باغی و آویشن دنایی (*Thymus daenensis*) شده است (Askary, 2017). در پژوهش دیگر نیز زمانی که سطح رطوبتی از ۹۰ درصد به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش یافت ارتفاع بوته آویشن باغی، ۴۳/۳۲ درصد کاهش یافت (Ghderi, 2015). تنش رطوبتی باعث ایجاد اختلال در بیان ژن‌های سازنده دیواره سلولی (Ghassemian et al., 2008)، هدایت مواد فتوسنتزی به سمت ساخت ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی مانند محتوای پرولین، گلایسین، بتائین و ترکیبات قندی (Munns, 1993) و اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به سرشاخه جهت توسعه بیشتر و دریافت رطوبت می‌گردد (Sreevalli et al., 2001; Cabuslay et al., 2002) که نتیجه آن هزینه زیاد برای مراقبت و زنده نگه‌داشتن سلول‌های گیاه و کاهش رشد و نمو بوده و به‌تبع آن از ارتفاع گیاه کاسته شده است.

جدول ۳. اثرات ساده سطوح تخلیه رطوبت بر برخی ویژگی‌های آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) در شرایط مزرعه

Table 3. The simple effects of the moisture depletion levels on some characteristics of thyme (*Thymus vulgaris*) under farm conditions

سطوح تخلیه رطوبتی The levels of moisture depletion	قطر تاج پوشش Crown diameter	ارتفاع Height	نشت الکترولیت‌ها Electrolyte leakage	محتوای نسبی محتوای پرولین Proline content	محتوای نسبی آب Relative water content	عملکرد اسانس Essential yield
	cm	cm	%	µmol g^{-1}F.W	%	kg ha^{-1}
90% FC	32.86[a]	26.87[a]	25.14[c]	2.05[c]	79.11[c]	65.96[a]
65% FC	28.45[b]	24.50[a]	31.90[b]	3.66[b]	75.49[b]	55.32[ab]
40% FC	25.18[b]	21.17[b]	35.46[a]	5.18[a]	68.26[a]	41.54[b]

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

Means with the same letters are not significantly difference according to Duncan test at 5% probability level.

ارتفاع گیاه از شاخص‌های مهمی است که در این مطالعه با صفت قطر تاج پوشش همبستگی مثبت بسیار معنی‌داری داشته است (جدول ۴). فراهم‌سازی شرایط محیطی برای افزایش ارتفاع و قطر تاج پوشش گیاهی مانند آویشن باغی که معمولاً از سرشاخه آن استفاده می‌گردد می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد ایفا نماید.

نشت الکترولیت‌ها

تجزیه واریانس مبین اثر معنی‌دار ($P\leq0.01$) سطوح تأمین رطوبت، الیسیتورها و برهمکنش تیمارها بر نشت الکترولیت‌ها بود (جدول ۲). طبق این نتیجه برش‌دهی الیسیتورها در هر سطح تأمین رطوبت مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای شاهد (عدم کاربرد الیسیتور) بالاترین میزان نشت الکترولیت‌ها را در هر سه سطح رطوبتی به‌طور جداگانه به خود اختصاص دادند. بیشترین کارایی الیسیتورها در سطح تأمین رطوبت در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مربوط به الیسیتور ۱۵۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات + ۱۵۰ میکرومولار سیکلودکسترین بود که کمترین میزان نشت را در بین تیمارها داشته است. بالاترین کارایی الیسیتوری در سطوح تأمین در ۶۵ و ۴۰ درصد مربوط به دو تیمار مقادیر بالای الیسیتور کروناتین ۰(سطح الیسیتور ۴) و متیل‌جاسمونات (سطح ۵ الیسیتور) بود.

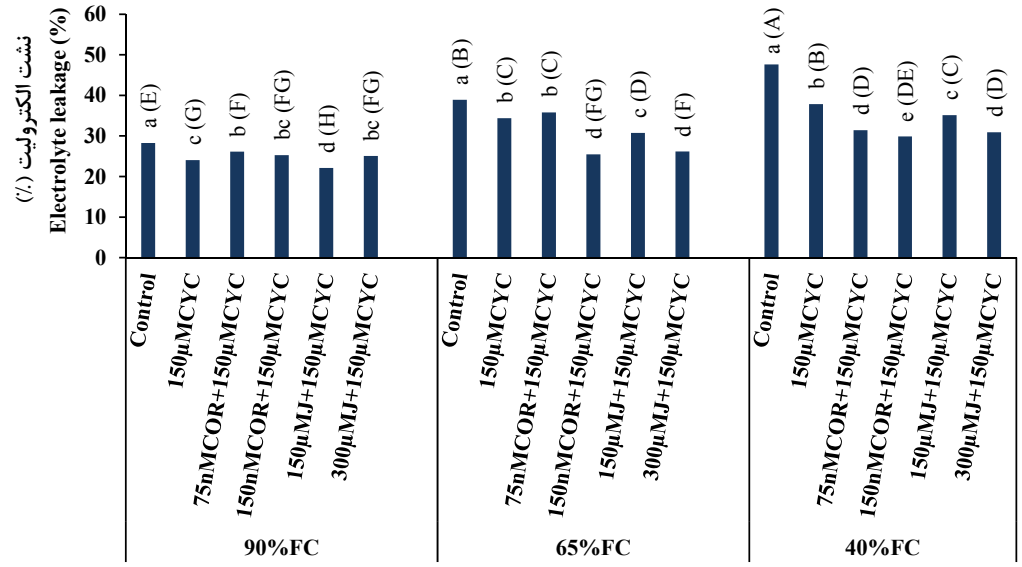
تیمار شاهد تأمین رطوبت در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به ۹۰ درصد ۶۸ درصد افزایش نشت الکترولیت‌ها داشت درصورتی‌که تیمار متیل‌جاسمونات در همین شرایط ۲۳ درصد افزایش نشت الکترولیت‌ها داشته است که حدود یک‌سوم شاهد بوده است؛ بنابراین الیسیتورها از طریق فعال‌سازی مکانیسم‌های بیوشیمیایی سبب تحمل غشاء سلولی شده و از نشت الکترولیت‌ها کاسته‌اند.

در بررسی که به‌منظور کاهش تنش آرسنیک تحت تأثیر کروناتین (۵۰۰،۰ و ۱۰۰ نانو مولار) روی ریحان صورت گرفته مشخص‌شده کروناتین توانسته از اثرات سمیت و تخریبی آرسنیک بکاهد و به‌طور معنی‌داری نشت الکترولیت‌ها را کاهش داده است (Zare-Dehabadi, S. 2013). متیل جاسمونات تحت شرایط خشکی باعث افزایش معنی‌دار پراکسیداز، اسیدهای چرب اشباع‌شده و اشباع‌نشده، فلاونوئیدها، فنل‌ها و قندها در سویا شد (Mohamed and Latif, 2017) به‌طوری‌که بیشتر این ترکیبات می‌توانند نقش مهمی در تحمل گیاه ایفا نماید. تنش‌های رطوبتی همواره باعث تنش ثانویه می‌گردند که تنش اکسیداتیو[14] نام دارند، در سلول‌های گیاهی در طی فرایند فتوسنتز و تنفس الکترون‌ها به سمت اکسیژن انتشاریافته و نهایتاً گونه‌های اکسیژن فعال[15] را تولید می‌نماید (Asada, 1999).

یافته‌های علمی خسارت مواد اکسیدکننده به مولکول زنده مانند چربی‌ها، پروتئین‌ها و ترکیبات دیگر را نشان می‌دهد (Mittler, 2002) که این عوامل باعث نشت الکترولیت‌ها یا مرگ سلول می‌شوند (Sueldo et al., 1996)؛ بنابراین متیل جاسمونات و کروناتین که از مشتقات و آنالوگ جاسمونات‌ها هستند توانسته‌اند به‌طور معنی‌داری از انتشار الکترولیت‌ها و صدمات غشاء پلاسمایی گیاهان کلیه تیمارهای مورداستفاده بکاهند (شکل ۲).

[14] oxidative stress

[15] Reactive oxygen species



شکل ۲. اثرمتقابل الیسیتورها (کروناتین=COR، متیل جاسمونات= MJ و سیکلودکسترین=CYC) در هر سطح تخلیه رطوبتی بر نشت الکترولیت‌های آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) در شرایط مزرعه. میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن ا ختلاف معنی‌داری درسطح ۵٪ ندارند (حروف بزرگ لاتین) (حروف کوچک مقایسات برش‌دهی را نشان می‌دهد).

Fig. 2. The interaction of elicitors (Cor=Coronatine, MJ=Methyl jasmonate and Cyc=Cyclodextrin) at each level of moisture depletion on electrolyte leakage of thyme (*Thymus vulgaris*) under farm conditions. Means with the same letters are not significantly difference according to Duncan test (Capital letter) at 5% probability level. (The small letters show the slicing comparisons).

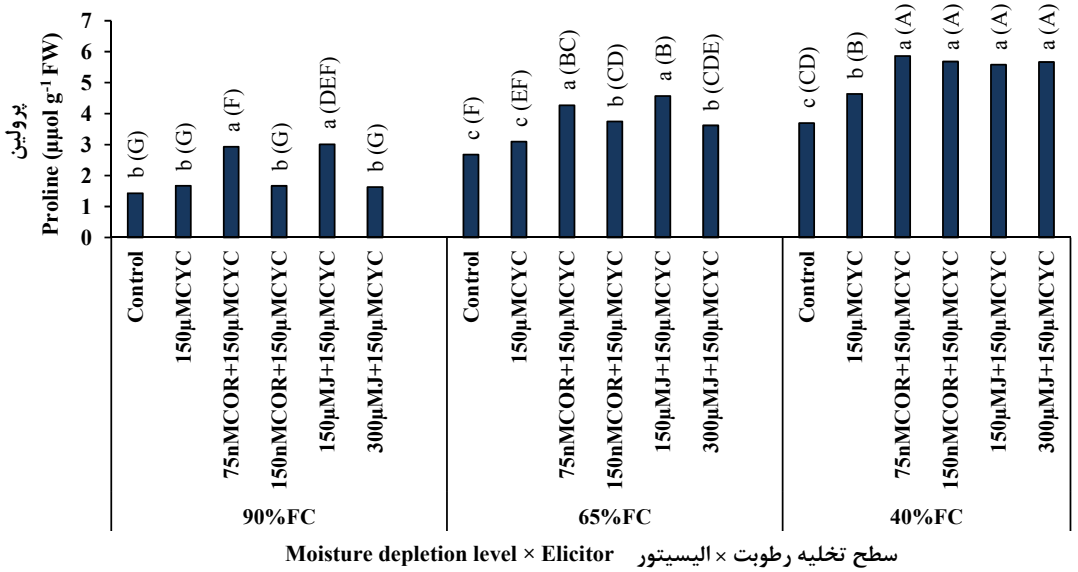
محتوای پرولین

نتایج حاصله بیانگر اثر معنی‌دار ($P\leq0.01$) سطح تأمین رطوبت، الیسیتور و اثر متقابل آن‌ها بر محتوای پرولین برگ آویشن باغی بود (جدول ۲).

معنی‌دار بودن اثرمتقابل به استفاده یا عدم استفاده از الیسیتور به سطح تأمین رطوبت بستگی دارد به همین دلیل برش‌دهی اثرات متقابل انجام شد و حاکی از آن بود که سطوح الیسیتوری در هر سه سطح تأمین رطوبت به‌طور جداگانه اختلاف معنی‌داری ($P\leq0.01$) در تولید محتوای پرولین برگ داشته است (جدول ۲).

برهمکنش سطح ۳ و ۵ الیسیتورها در سطوح تأمین رطوبت در ۹۰ و ۶۵ درصد ظرفیت زراعی کارایی بیشتری در تولید محتوای پرولین برگ آویشن باغی داشته‌اند به عبارت روشن‌تر ۷۵ نانومولار کروناتین +۱۵۰ میکرو مولار سیکلودکسترین و ۱۵۰ میکرومولار متیل‌جاسمونات + ۱۵۰ میکرو مولار سیکلودکسترین در شرایط فراهمی رطوبت باعث القاء تولید محتوای پرولین بیشتر در هر دو سطح رطوبتی شدند و در بالاترین گروه قرار گرفتند. در شرایط تأمین رطوبت در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی ۴ سطح الیسیتوری (۳، ۴، ۵ و ۶) که حاوی کروناتین و متیل جاسمونات بودند بیشترین میزان محتوای پرولین را تولید و در یک گروه قرار گرفتند. ازآنجایی‌که غلظت‌های پایین و بالای هر دو الیسیتور مورداستفاده اختلاف معنی‌داری نداشتند می‌توان نتیجه گرفت که گیاهان تا یک حد معینی قادر به تولید پرولین بوده یا اینکه در شرایط تنش برای تولید محتوای پرولین از سوبسترای موجود در سلول به‌طور کامل استفاده نموده‌اند.

گیاهان به‌طور طبیعی از سطح تأمین رطوبت در ۹۰ درصد به ۴۵ درصد، میزان محتوای پرولین خود را حدود ۱/۵ برابر افزایش دادند (نسبت دو شاهد) اما با استفاده از الیسیتورهای کروناتین و متیل‌جاسمونات تغییرات به حدود ۲/۵ برابر افزایش یافت (نسبت الیسیتور و شاهد سطح ۹۰ درصد) (شکل ۳) بنابراین الیسیتورهای موردنظر باعث افزایش حدود ۱۰۰ درصد محتوای پرولین برگ آویشن باغی گردیدند.



شکل ۳. اثرمتقابل الیسیتورها (کروناتین=COR، متیل جاسمونات= MJ و سیکلودکسترین=CYC) در هر سطح رطوبتی بر محتوای پرولین برگ آویشن باغی (Thymus vulgarisدر شرایط مزرعه. میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری درسطح ۵٪ ندارند (حروف کوچک مقایسات برش‌دهی را نشان می‌دهد).

Fig. 3. The interaction of elicitors (Cor=Coronatine, MJ=Methyl jasmonate and Cyc=Cyclodextrin) at each level of moisture supply on proline content of leaf of thyme (*Thymus vulgaris*) under farm conditions. Means with the same letters are not significantly difference according to Duncan test level (Capital letter) at 5% probability level. (The small letters show the comparisons of slicing).

کاهش سطوح رطوبتی خاک در آزمایش‌های مختلف بر روی آویشن باغی (Ghaderi, 2015)، آویشن باغی و آویشن دنایی (Askary, 2017)، نخود (*Pisum satium* L.) (Sanchez, et al.,1998) و ریحان (*Ocimum basilicum*) (Moein-Alishah et al., 2006) و کاربرد کروناتین بر روی ریحان (*Ocimum basilicum*) (Zare-Dehabadi, S. 2013)، سویا (*Glycine max*) (Hashemi, 2016) و همچنین جاسمونیک اسید بر روی آویشن باغی (Ghaderi, 2015)، گندم (*Triticum aestivum*) (Alikhani et al., 2019) و جو (*Hordeum spontaneum*) (Bandurska et al., 2003) باعث افزایش سطح محتوای پرولین گیاهان گردیده‌اند. در این مطالعه نیز گیاهان تحت تأثیر برهمکنش تنش خشکی و کاربرد خارجی الیسیتورها باعث افزایش سطح محتوای پرولین شدند.

تنش خشکی تجزیه پروتئین‌ها و درنتیجه افزایش آمینواسیدها و آمیدها را در پی داشته که یکی از این آمینواسیدها محتوای پرولین است (Barker et al., 1993). جاسمونیک اسید و مشتقات آن پاسخ‌های گیاهی مختلف شامل؛ تنظیم ژن‌ها، ساخت پروتئین‌های مخصوص و همچنین متابولیت‌های ثانویه را تحت یک دامنه‌ای از متغیرهای محیطی تنظیم می‌کند (Sharma et al., 2019)؛ بنابراین گیاهان ازیک‌طرف تحت تأثیر تنش خشکی به‌صورت طبیعی باعث تجزیه پروتئین‌ها در جهت تولید اسیدآمینه‌ها و از طرف دیگر با کاربرد خارجی متیل جاسمونات و کروناتین سبب القاء ژن‌های شده و تولید محتوای پرولین را سرعت بخشیده تا جایی که این افزایش در سطح رطوبتی ۴۰ درصد به یک آستانه احتمالاً در حد تحمل گیاه نزدیک و در تیمارهای الیسیتوری در یک سطح ثابت شده است.

محتوای نسبی آب

اثر سطوح تأمین رطوبت بر محتوای نسبی آب بسیار معنی‌دار بود اما بین الیسیتورها و اثر متقابل تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌های محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر سطوح رطوبت در سه کلاس مجزا قرار گرفت. سطوح تأمین رطوبت در ۶۵ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به سطح تأمین رطوبت در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۴/۶ و ۱۳/۷ درصد کاهش محتوای نسبی آب برگ را در پی داشت (جدول ۳).

در مطالعه‌ای روی آویشن باغی و آویشن دنایی، بیشترین و کمترین محتوای نسبی آب به ترتیب در سطوح جبران رطوبتی ۱۰۰ و ۳۳ درصد ظرفیت زراعی گزارش شده است (Askary, 2017). در بررسی که روی چند توده از دو گونه آویشن باغی و آویشن کوهی[16] صورت گرفت در شرایط بدون تنش محتوای نسبی آب گونه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشت اما در شرایط تنش اختلاف آن‌ها معنی‌دار شد (Mohammadi et al., 2019). در آزمایشی که لتچامو و گوس سلین (Letchamo and Gosselin, 1996) روی دو کلون آویشن باغی داشتند، بالاترین محتوای نسبی آب را از بین سه سطح رطوبتی (۵۰، ۷۰ و ۹۰) در سطح ۵۰ درصد ظرفیت نگهداری آب خاک ‘گلدان گزارش کرده‌اند.

کاستریلو و تروجیلو (Castrillo and Turujillo, 1994) بین غلظت کلروفیل، فعالیت روبیسکو و پروتئین و محتوای نسبی آب همبستگی مثبتی را گزارش کرده‌اند؛ بنابراین وقتی‌که محتوای نسبی آب بالاتر باشد گیاه به‌صورت کارآمدتری اسیمیلاسیون و تولید را تحت تأثیر قرار خواهد داد. صحت موضوع در نتایج حاصل از این مطالعه نیز نمایان است، به‌طوری‌که محتوای نسبی آب همبستگی مثبت بسیار معنی‌داری با ارتفاع، فطر تاج پوشش عملکرد تر و خشک سرشاخه، عملکرد خشک ساقه و برگ و عملکرد اسانس و همبستگی منفی بسیار معنی‌داری با نشت الکترولیت‌ها و محتوای پرولین برگ داشته است (جدول ۴).

نگهداری آماس سلولی در بالاترین حد ممکن با تنظیمات اسمزی یک مکانیسم مهم گیاهی به‌حساب می‌آید که یک فرایند فعال بوده و با تجمع مواد محلول در سلول در زمان تنش خشکی روی می‌دهد (Blum, 1988)؛ بنابراین تنظیم میزان آب در گیاه و خاک از شاخص‌های مهمی می‌باشند که می‌تواند عملکرد کمی و کیفی گیاه را تحت تأثیر قرار دهد به این صورت که محتوای نسبی آب گیاه بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد باعث تغییرات فتوسنتز می‌گردد اما بازدارندگی‌های آن قابل‌برگشت می‌باشند درصورتی‌که محتوای نسبی آب کمتر از ۳۰ درصد غشاء کلروپلاست گیاهان صدمه‌دیده و این صدمات غیرقابل‌برگشت هستند (Kafi et al., 2014). بر این اساس در مطالعه حاضر گیاهان در دو سطح تأمین رطوبت ۹۰ و ۶۵ درصد ظرفیت زراعی بدون مشکل و در سطح تأمین رطوبتی ۴۰ درصد با محدودیت مواجه بودند اما شدت تنش به مرحله غیرقابل‌برگشت نرسید و رشد گیاهان تا آخر فصل ادامه داشت.

عملکرد تر و خشک سرشاخه

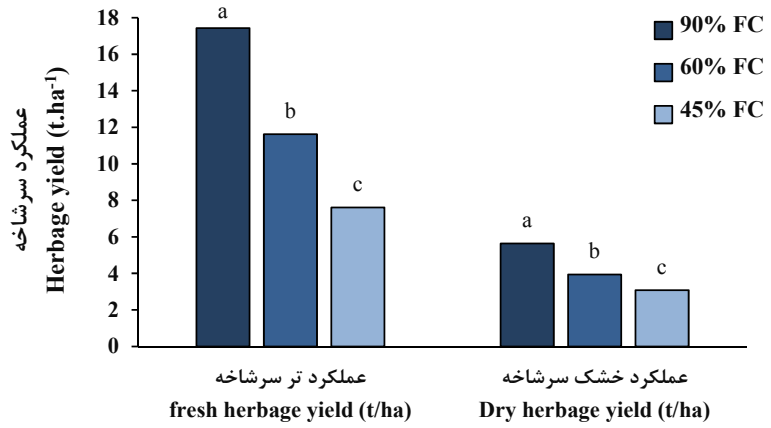
نتایج اثر سطوح مختلف تأمین رطوبت بر عملکرد تر و خشک سرشاخه معنی‌دار بود ($P\leq0.01$) اما اثر ساده الیسیتورها و اثرات متقابل تیمارها بر عملکرد تر و خشک گیاهان معنی‌دار نگردید (جدول ۲).

مقایسات میانگین‌های اثر سطوح رطوبتی نشان داد که بیشترین عملکرد تر مربوط به سطح تأمین رطوبت در ۹۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی بود و با کاهش سطح تخلیه رطوبت به ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی عملکرد تر ۳۳ و ۵۶ درصد کاهش داشت (شکل ۴). عملکرد خشک آویشن باغی در سطوح تخلیه رطوبت ۹۰، ۶۵ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی برابر با ۵/۶، ۳/۹ و ۳/۰ تن در هکتار بود که با کاهش سطح رطوبتی از ۹۰ به ۶۵ و ۴۰ درصد، عملکرد خشک به ترتیب ۳۰ و ۴۵ درصد کاهش پیدا کرد (شکل ۴).

درصد بالاتر عملکرد خشک بین سطوح رطوبتی به دلیل درصد پایین‌تر آب و ماده خشک بیشتر در دو سطح پایینی بوده است به‌طوری‌که درصد رطوبت نسبت به وزن‌تر در سطوح تخلیه رطوبتی ۹۰، ۶۰ و ۴۰ به ترتیب ۶۸، ۶۶ و ۵۹ درصد بود. نتایج نشان می‌دهند که گیاهان با مکانیسم‌های مختلف ازجمله تنظیم در ابعاد تاج پوشش، ارتفاع، تنظیمات اسمزی، محافظت غشاء سلولی و جلوگیری از نشت الکترولیت‌ها توانسته‌اند آماس سلولی را در بالاترین حد ممکن نگه‌دارند و با محافظت از کلروفیل، روبیسکو را فعال نگه‌داشته به‌طوری‌که تا پایان فصل رشد زنده‌مانی خود را حفظ نمودند.

بر اساس مطالعه انجام‌شده تنش خشکی باعث کاهش عملکرد ۵ گیاه دارویی مریم‌گلی (Salvia officinalis)، بومادران (Achillea millefolium)، اسفرزه (*Plantago psyllium*)، همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*) و بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) شده است (Lebaschy and Sharifi Ashoorabadi,.2004). حاصل بررسی تنش خشکی بر آویشن باغی نیز مبین اثر منفی بر عملکرد تر و خشک شاخساره بوده است (Ghderi, 2015) که با نتایج این بررسی نیز هماهنگی دارد.

[16] *Thymus Kotschyanus* Boiss. and Hohen.



شکل ۴. اثرات تامین رطوبت در سطوح مختلف تخلیه رطوبتی بر عملکرد تر و خشک آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) در شرایط مزرعه. میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Fig. 4. The effects of the moisture depletion levels on fresh and dry herbage yield of thyme (*Thymus vulgaris*) under farm conditions. Means with the same letters are not significantly difference according to Duncan test at 5% probability level.

جدول ۴. برآورد ضریب هم‌بستگی پیرسون (r) بین برخی ویژگی‌های آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) در شرایط مزرعه

Table 4. Pearson's correlation coefficients (r) between some characteristics of Thyme (*Thymus vulgaris*) in farm conditions

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ارتفاع Height	1										
2	قطر تاج پوشش Crown diameter	0.85**	1									
3	نشت الکترولیت‌ها Electrolyte leakage	-0.45**	-0.56**	1								
4	محتوای پرولین Proline content	-0.53**	-0.60**	0.33**	1							
5	محتوای نسبی آب Relative water content	0.45**	0.53**	-0.48**	0.33**	1						
6	عملکرد تر سرشاخه Fresh weight of herb	0.70**	0.78**	-060**	-0.73**	0.72**	1					
7	عملکرد خشک سرشاخه Dry weight of her	0.72**	0.77**	-0.60**	-0.69**	0.67**	0.95**	1				
8	عملکرد خشک برگ Dry weight of leaves	0.77**	0.75**	-0.59**	-0.65**	0.68**	0.89**	0.95**	1			
9	عملکرد خشک ساقه Dry weight of stems	0.66**	0.75**	-0.64**	-0.68**	0.62**	0.94**	0.98**	0.86**	1		
10	درصد اسانس Essential oil percent	0.71ns	0.22 ns	0.19 ns	0.02 ns	0.06 ns	0.69 ns	0.81**	0.64 ns	0.47 ns	1	
11	عملکرد اسانس Essential yield	0.65**	0.60**	-0.36**	-0.56**	0.62**	0.75**	0.83**	0.91**	0.72**	0.45**	1

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح P≤0.01, P≤ 0.05 و عدم معنی‌داری

*,** and ns significant at P≤0.05, P≤ 0.01 and no significantly respectively

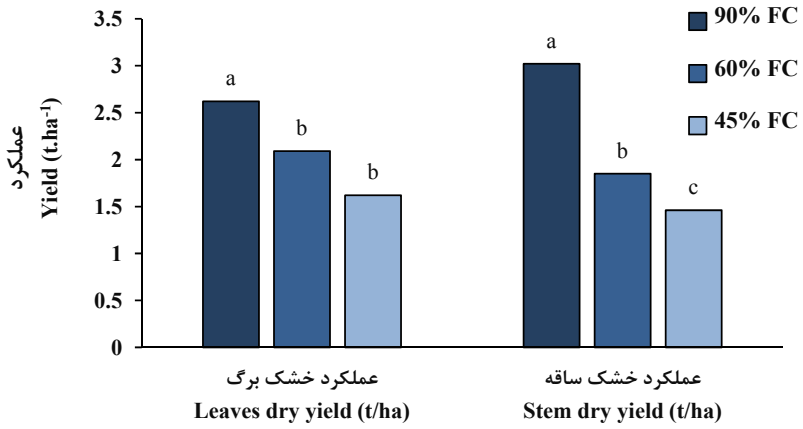
با توجه به همبستگی مثبت بین عملکرد با ارتفاع و قطر تاج پوشش، به نظر می‌رسد کاهش عملکرد تر و خشک گیاهان تا حدی ناشی از عوامل کاهنده ارتفاع و تاج پوشش گیاهان بوده است. آب ضروری‌ترین ماده برای حیات و رشد گیاهان بوده و در تولید نقش بسزایی داشته به‌طوری‌که واکنش‌های مهم فتوسنتزی جهت تأمین الکترون، هیدروژن

و اکسیژن نیاز به آب دارند (Soltani, and faraji, 2011; Taiz et al., 2015). علاوه بر آن، در شرایط تنش فعالیت آنزیم‌ها، جذب دی‌اکسید کربن، هدایت روزنه‌ای (Chaves et al., 2002) و انتقال مواد فتوسنتزی (Taiz et al., 2015) تحت تأثیر رطوبت گیاه است، بنابراین با کاهش رطوبت گیاهان انرژی‌شان را برای خود مراقبتی و نگهداری صرف نموده و از عملکرد گیاهان به‌شدت کاسته می‌گردد.

عملکرد خشک برگ و ساقه

سطوح تأمین رطوبت عملکرد خشک برگ ($P\leq0.05$) و ساقه ($P\leq0.01$) را تحت تأثیر قرار داد اما الیسیتورها و برهمکنش تیمارها بر عملکرد خشک برگ و ساقه تأثیرگذار نبودند (جدول ۲).

سطح تأمین رطوبت در ۴۰ و ۶۵ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی نسبت به ۹۰ درصد عملکرد برگ را به ترتیب ۲۰/۵ و ۳۸/۲ درصد و عملکرد ساقه را ۳۸/۶ و ۵۱/۵ درصد کاهش داد (شکل ۵). نسبت عملکرد برگ به ساقه در سه سطح تأمین رطوبت در ۹۰، ۶۵ و ۴۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی به ترتیب ۰/۸۷، ۱/۱۲ و ۱/۱۰ بود. به نظر می‌رسد که رطوبت بیشتر باعث تحریک ساقه قوی‌تر و بزرگ‌تر می‌گردد که این واکنش می‌تواند عمل خودتنظیمی گیاه برای تحمل برگ و گل بیشتر و این‌که مواد غذایی در ساقه برای زمستان گذرانی ذخیره می‌شود.



شکل ۵. اثرات سطوح مختلف رطوبتی بر عملکرد برگ و ساقه آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) در شرایط مزرعه. میانگین‌های دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Fig. 5. The effects of supplying moisture levels on dry yield of leaves and steams of thyme (*Thymus vulgaris*) under farm conditions. Means with the same letters are not significantly difference according to Duncan test at 0.05 probability level.

برگ آویشن‌ها علاوه بر اینکه محل مهم واکنش‌های بیوشیمیایی کربن گیری، 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. بر اساس مطالعات انجام‌شده عملکرد برگ و ساقه آویشن باغی و آویشن دنایی با افزایش تنش رطوبتی کاهش زیادی داشته و این کاهش در آویشن باغی بیشتر از آویشن دنایی بوده است (Askary, 2017). اثر کاهشی وزن خشک برگ و ساقه تحت تأثیر تنش رطوبتی در گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) (Rassam et al., 2014)، مرزه (*Satureja hortensis*) (Miranshahi and sayyari, 2016) و جعفری (*Petroselinum crispum*) (Petropoulos et al., 2008) گزارش شده است که با نتایج این بررسی مطابقت دارد. کاهش عملکرد نتیجه فرایندهایی است که گیاهان با تقسیم و طویل شدن سلول نسبت به خشکی بسیار حساس بوده و به‌طورکلی تنش خشکی در طول دوره رشد رویشی باعث کوچک شدن برگ‌ها، کاهش تعداد برگ‌ها، کاهش شاخص سطح برگ و کاهش جذب نور و حتی رسیدگی زودرس خواهد شد (Levitt, 1980; Kafi et al., 2014). بر اساس گزارش‌های موجود تعدیلات سطح برگ در زمان تنش خشکی استراتژی

گیاه در برابر عوامل تنش‌زا بوده تا بتواند آب داخل گیاه و محیط ریشه را تنظیم نماید (Blum, 1996). کاهش عملکرد برگ نتیجه کاهش سطح فعال فتوسنتزی و سپس کاهش جذب دی‌اکسید کربن و کاهش مواد فتوسنتزی و کاهش انتقال بوده است.

درصد و عملکرد اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که سطوح تأمین رطوبت بر درصد اسانس اثر معنی‌داری نداشته اما عملکرد اسانس را تحت تأثیر قرار دادند ($P\leq0.05$). اثر الیسیتور و برهمکنش الیسیتورها و سطوح تأمین رطوبت بر درصد و عملکرد اسانس معنی‌دار نگردید (جدول ۲).

بیشترین عملکرد اسانس در سطح تأمین رطوبت در ۹۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی بود به‌طوری‌که سطح تأمین رطوبت در ۶۵ و ۴۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی، عملکرد اسانس را به ترتیب ۱۶ و ۳۷ درصد کاهش داد (جدول ۳)؛ بنابراین عملکرد اسانس در شرایط تأمین رطوبت در ۶۵ درصد ظرفیت زراعی هم می‌تواند عملکرد قابل قبولی باشد. عملکرد اسانس نتیجه عملکرد بیولوژیک و درصد اسانس است، بنابراین در شرایط مزرعه عملکرد بیولوژیک که در این مطالعه عملکرد سرشاخه گیاه است شدیداً عملکرد اسانس را تحت تأثیر قرار داد.

قادری (Gaderi, 2015) در بررسی که بر روی آویشن باغی تحت تنش‌های رطوبتی داشته است بیشترین عملکرد اسانس را در تیمار رطوبتی ۹۰ درصد ظرفیت زراعی گزارش نموده که مطالعه حاضر نیز با آن مطابقت دارد. در مطالعه دیگر روی آویشن باغی در شرایط گلخانه بیشترین درصد و عملکرد اسانس مربوط به سطح رطوبتی ۷۰ درصد بوده است (Letchamo and Gosselin, 1996). محققین دیگر بیشترین درصد و عملکرد اسانس را در تیمار آبیاری ۶۷ درصد ظرفیت زراعی گزارش نموده‌اند (Askary et al., 2018). گیاهان به‌عنوان موجودات غیر متحرک[17] دائماً در حال تنظیم فعالیت بیوشیمیایی در جهت رشد و نمو و یا برای دفاع و بقاء می‌باشند. هر عامل محیطی تأثیرگذار بر گیاهان، پیامی بوده که توسط گیرنده‌های فیزیکی دریافت، در مسیر انتقال تقویت و نهایتاً با بیان ژن و ساخت ترکیبات بیوشیمیایی پاسخ داده می‌شود (Taiz et al., 2015) در این بررسی عملکرد اسانس گیاه با ارتفاع، قطر تاج پوشش، عملکرد تر و خشک و عملکرد خشک برگ و ساقه همبستگی مثبت بسیار معنی‌داری و با محتوای پرولین و نشت الکترولیت‌ها همبستگی منفی بسیار معنی‌داری داشته است؛ بنابراین شاخص‌های عملکردی در حد بسیار معنی‌داری توانسته عملکرد اسانس را تحت تأثیر قرار دهد.

زارع ده‌آبادی (Zare Dehabadi, 2013) در بررسی اثر پیش تیمار کروناتین و نیترو پروساید در ریحان در شرایط گلدانی درصد اسانس بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ نانومولار و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نکرده است که با مطالعه حاضر مطابقت دارد. تایز و همکاران (Taiz et al., 2015) بیان داشتند که بعضی از ترکیبات متابولیت‌های ثانویه که در گیاهان ساخته و تجمع می‌گردند دارای اثرات بالقوه سمی برای خود گیاه نیز می‌باشند و به همین دلیل نمی‌توانند آن‌ها را در واکوئل ذخیره نمایند. در آویشن‌ها بیشترین اسانس آن در کرک‌های غده‌ای ذخیره می‌گردد (Marin et al. 2008) بنابراین با توجه به سمی بودن بعضی ترکیبات برای گیاه می‌توان نتیجه گرفت که گیاهان پتانسیل محدودی در تولید غدد داشته و حتی در شرایط رطوبتی مختلف عوامل مؤثر بر تولید اسانس (عوامل ژنتیکی، محیطی و اثرات متقابل آن‌ها) تا یک آستانه معین غدد اسانسی را تولید و ذخیره کرده‌اند به‌طوری‌که درصد اسانس گیاه در شرایط مختلف رطوبتی، الیسیتوری و اثر متقابل آن‌ها اختلاف معنی‌داری نشان نداد.

در مورد عدم معنی‌داری تیمارهای الیسیتوری و اثرات متقابل‌ها (جدول ۲) این‌طور می‌توان بیان داشت که تحقیقات انجام‌شده نشان دادند که ترکیبات معطری که در حمله گیاه‌خواری القاء گردیده‌اند می‌توانند از فاصله طولانی پیام را به گیاهان مجاور برسانند تا نهایتاً باعث بیان ژن‌های دفاعی گردند. این پیام‌رسانی توسط ترپنوئیدها و ترکیبات فرار برگ سبز مانند اکسی‌لیپین‌های جاسمونات می‌باشند که از اسید لینولنیک تولید می‌شوند (Taiz et al., 2015). بر اساس نتایج فوق در مزرعه احتمال دارد حتی کرت‌هایی که محلول‌پاشی نشده‌اند از طریق کرت‌های محلول‌پاشی شده، گاز متیل جاسمونات انتشار پیداکرده و تقریباً اثر یکسانی بر تیمارها و عملکرد کل مزرعه داشته است به‌طوری‌که گاز انتشاریافته توانسته تا یک آستانه یکنواخت تیمارها را تحت

[17] Sessile

تأثیر قرار دهد. هرچند که این موضوع نیاز به بررسی بیشتری دارد.

نتیجه‌گیری نهایی

تنش خشکی با تأثیرگذاری گسترده بر فرایندهای مورفوفیزیولوژیکی که در این بررسی نتایج آن در تمامی ابعاد گیاه، قطر تاج پوشش، ارتفاع، محتوای پرولین، نشت الکترولیت‌ها و محتوای نسبی آب مشاهده گردید، باعث شد عملکرد تر و خشک سرشاخه، عملکرد برگ و ساقه و نهایتاً عملکرد اسانس را تحت تأثیر بسیار معنی‌داری قرار دهد. اثرات متقابل سطوح مختلف رطوبتی و الیسیتوری در شاخص‌های فیزیولوژیکی و فرایندهای بیوشیمیایی می‌تواند نمود داشته باشد.

قدردانی

بدین‌وسیله از دانشگاه بیرجند به خاطر حمایت‌های علمی و مالی و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی به خاطر در اختیار گذاشتن امکانات مزرعه‌ای و آزمایشگاهی کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم.

منابع

Alfermann, A.W., 2018. Production of natural products by plant cell and organ cultures. In: Roberts, J.A. (ed.), Annual Plant Reviews book series, Functions and Biotechnology of Plant Secondary Metabolites. 39, 381-399. https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0422

Alikhani, O., Abbaspour, H., Safipour afshar, A., Motevalizadeh Kakhaki, A.R., 2019. Effects of methyl jasmonate on cadmium accumulation, antioxidant capacity and some physiological traits of wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 32(4), 886-897. [In Persian with English Summary].

Asada, K., 1999. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 50, 601–639. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.601

Askary, M., 2017. Evaluation of some morpho-physiological and phytochemical traits of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* L. species in drought conditions and the use of manure. Ph.D. Thesis, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Birjand, Birjand, Iran [In Persian].

Askary, M., Behdani, M.A., Parsa, S., Mahmoodi, S., Jami Al-Ahmadi, M., 2018. Water stress and manure application affect the quantity and quality of essential oil of *Thymus daenensis* and *Thymus vulgaris*. Industrial Crops and Products, 111, 336-344. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.056

Baenas, N., Garcia-Viguera, C., Moreno, D.A., 2014. Elicitation: A tool for enriching the bioactive composition of foods. Molecules, 19, 13541–13563. https://doi.org/10.3390/molecules190913541

Bandurska, H., Stroin-ski, A., Kubis´, J., 2003. The effect of jasmonic acid on the accumulation of ABA, proline and spermidine and its influence on membrane injury under water deficit in two barley genotypes. Acta Physiologiae Plantarum., 25, 279–285. https://doi.org/10.1007/s11738-003-0009-0

Barker, D.G., Sullivan, C.Y., Moser, L.E, 1993. Water deficit effects on osmotic potential, cellwall elasticity, and proline in five forage grasses. Agronomy Journal. 85, 270-275. https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500020020x

Bates, L.S., Waldern, R.P., Tear, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39, 207-207.

Blackman, S.A., Obendorf, R.L., Lepold, A.C., 1995. Desiccation tolerance in developing soybean seeds: The role of stress proteins. Plant Physiology, 93, 630-638. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1995.tb05110.x

Blum, A. 1988. Plant Breeding for stress Environments. CRC Press. Inc. 231p. https://doi.org/10.1201/9781351075718

Blum, A., 1996. Crop response to drought and the interpretation adaptation. Plant Growth

Regulation. 20, 135-148. (1996). https://doi.org/10.1007/BF00024010

Cabuslay, G.S., Ito, O., Alejar, A.A., 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. Plant Science. 163, 815-827. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00217-0

Castrillo, M., Turujillo, I., 1994. Ribulose-1, 5 bisphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivares of French bean plants under water stress and rewatering. Photosynthetica. 30, 175-181.

Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodriques, M.L., Ricardo, C.P.P., Osorio, M.L., Carvatho, I., Faria, T., Pinheiro, C., 2002. How plants cope with water stress in the field photosynthesis and growth? Annuals of Botany. 89, 907-916. https://doi.org/10.1093/aob/mcf105

Gallego, A., Imseng N., Bonfill M., Cusido R.M., Palazon J., Eibl R., Moyano E., 2015. Development of a hazel cell culture-based paclitaxel and baccatin III production process on a benchtop scale. Journal of Biotechnology. 195, 93–102. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2014.12.023

Ghaderi, A.A., 2015. Effects of salicylic acid and jasmonic acid on morphological and physiological traits of medicinal plant thymus vulgaris under drought stress (*Thymus vulgaris* L.). MSc dissertation. Department of Horticulture and Landscape. University of Zabol. Zabol, Iran. [In Persian].

Ghassemian, M., Lutes, J., Chang, H., Lange, I., Chen, W., Zhu, T., Wang, X., Lange, B.M., 2008. Abscisic acid-induced modulation of metabolic and redox control pathways in *Arabidopsis thaliana*. Phytochemistry. 69, 2899–2911. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.09.020

Hashemi, S., 2016. Evaluation the effect of coronatine pretreatment on stress zinc oxide synthesized by olive and aleo vera on soybean plant. Ph.D. Thesis, Department of Biology, Shahid Bahonar University of Kerman. Kerman, Iran. [In Persian].

Hornok, L., 1988. Effect of environmental factors on the production of some essential oil plants. In: Lawrence, B.M., Mookherjee, D.B., Willis, B.J. (eds.), Flavors and Fragrances: A World Perspective. Elsevier, Amsterdam. pp. 129-140

Jamzad, Z., 2009. Thymus and Satureja species of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands. 171p. [In Persian].

Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., Nabati, J., 2014. Physiology of Environmental Sstresses in Plants. Jahad Daneshgahi Press, Mashhad, Iran 502P. [In Persian].

Klarzynski, O., Friting, B., 2001. Stimulation of plant natural defenses. Comptes Rendus Biologies Academic Science. 324, 953–963. https://doi.org/10.1016/s0764-4469(01)01371-3

Lebaschy, M.H., Sharifi Ashoorabadi, E., 2004. Growth indices of some medicinal plants under different water stresses. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 20, 249-261. [In Persian with English summary].

Letchamo, W., Gosselin, A., 1996. Transpiration, essential oil glands, epicuticular wax and morphology of *Thymus vulgaris* are influenced by light intensity and water supply. Journal of Horticultural Science, 71, 123-134. https://doi.org/10.1080/14620316.1996.11515388

Levitt, J., 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol. II: Water, radiation, salt, and other stresses. Academic Press, United Kingdom

Littleson, M.M., Russell, C.J., Frye, E.C., Ling, K.B., Jamieson, C., Watson, A.J.B., 2016. Synthetic approaches to coronafacic acid coronamic acid and coronatine. Synthesis. Vol. 48. https://doi.org/10.1055/s-0035-1562552

Dell-Valle, E.M., 2003. Cyclodextrins and their uses: a review. Process Biochemistry. 39, 1033–1046. https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00258-9

Marin, M., Budimir, S., Janosevic, D., Marin, P., Duletic, S., Grbic, M., 2008. Morphology, distribution, and histochemistry of trichomes of *Thymus lykae* Degen and Jav. (Lamiaceae). Archives of Biological Sciences. 60, 667–672. https://doi.org/10.2298/ABS0804667M

Miranshahi, B., Sayyari, M., 2016. Methyl jasmonate mitigates drought stress injuries and affects essential oil of summer savory. Journal of Agricultureal Science and Technology (JAST). 18, 1635-1645.

Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science. 7, 405–410. https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9.

Moein Alishah H., Heidari R., Hassani A., Asadi Dizaji A., 2006. Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple Basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Biological Science. 6, 763-767. https://doi.org/10.3923/jbs.2006.763.767

Mohamed, H.I., Latif, H.H., 2017. Improvement of drought tolerance of soybean plants by using methyl jasmonate. Physiology and Molecular Biology of Plants. 23, 545–556. https://doi.org/10.1007/s12298-017-0451-x

Mohammadi, H., Amirikiaa, F., Ghorbanpour, M., Fatehic, F., Hashempou, H., 2019. Salicylic acid induced changes in physiological traits and essential oil constituents in different ecotypes of *Thymus kotschyanus* and *Thymus vulgaris* under well-watered and water stress conditions. Industrial Crops and Products. 129, 561-574. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.046

Moradi, P., 2018.The impact of drought stress on growth and hormone alterations in Thyme plant. journal of plant process and function, 6,311-322.

Moradi, P., 2018. The impact of drought stress on growth and hormone alterations in Thyme plant . Journal of Plant Process and Function. 6(19), 311-322. [In Persian with English summary].

Munns, R., 1993. Physiological process limiting plant growth in saline soil: some dogmass and hypotheses. Plant, Cell and Environment.16, 15-24. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1993.tb00840.x

Nikolić, M., Glamočlija, J., Ferreira, I.C.F.R., Calhelha, R.C., Fernandes, Â., Marković, T., Marković, D., Giweli, A., Soković, M., 2014. Chemical composition antimicrobial antioxidant and antitumor activity of *Thymus serpyllum* L., *Thymus algeriensis* Boiss. and Reut and *Thymus vulgaris* L. essential oils. Industrial Crops and Products, 52. 183–190. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.006.

Oksman-Caldentey, K.M., Inzé, D., 2004. Plant cell factories in the post-genomic era: new ways to produce designer secondary metabolites. Trends in Plant Science. 9, 433-440. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.07.006.

Onrubia, M., A., 2012. Molecular Approach to Taxol Biosynthesis. Ph.D. Thesis, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Spain.

Petropoulos, S.A., Dimitra, D., Polissiou, M.G., Passam, H.C., 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulturae, 115, 393-397. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.008.

Prasanth Reddy, V., Ravi Vital, K., Varsha, P.V., Satyam, S., 2014. Review on *Thymus vulgaris* traditional uses and pharmacological properties. Medicinal and Aromatic Plants, 3: 164. https://doi.org/10.4172/2167-0412.1000164

Rassam, G., Dadkhah, A., Khoshnood-Yazdi, A., 2014. Evaluation of water deficit on morphological and physiological traits of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Iranian Jouran of Agronomy Sciences, 5(10), 1-12. [In Persian with English summary].

Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., Holaday, A.S., 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science. 30, 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x

Rubio, V., Bustos, R., Luisa, M.L., Irigoyen, X., Cardona-Lopez, Rojas-Triana, M., Paz-Ares, J., 2009. Plant hormones and nutrient signaling. Plant Molecular Biology. 69, 361–373. https://doi.org/10.1007/s11103-008-9380-y

Sabater-Jara, A.B., Onrubia, M., Moyano, E., Bonfill, M., Palazón, J., Pedreño, M.A., Cusidó, R.M., 2014. Synergistic effect of cyclodextrins and methyl jasmonate on taxane production in Taxus x media cell cultures. Plant Biotechnology Journal. 12, 1075–1084. https://doi.org/10.1111/pbi.12214

Sanchez, F.J., Manzanares, M., Andres,E.F., Tenorio,J.L.,and Ayerbe,. L., 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crops Research. 59, 225-235. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00125-7

Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Ab-dul-Wajid, H.H., Battaglia, M.L., 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse

effects. Plants. 10, 259. https://doi.org/10.3390/plants10020259

Sharma, A., Shahzad, B., Kumar, V., Kohli, S.K., Sidhu-Gagan, P.S., Bali-Aditi S., Handa, N., Kapoor, D., Bhardwaj, R., Zheng, B., 2019. Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress biomolecules. 9, 285. https://doi.org/10.3390/biom9070285

Shi, D., Sheng, Y., 2005. Effects of various salt-alkaline mixed stress conditions on sunflower seedling and analysis of their stress factors. Environmental and Experimental Botany. 54, 8-21. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.05.003

Soltani, A., Faraji, A., 2011. Soil, Water and Plant Relationship. Jahad Daneshgahi Press, Mashhad, Iran. 246. [In Persian].

Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R., kuikkarni, R., SuShil Hasan, S., Samresh, D., Kukre, J., Ashok., A., Sharmr Singh, K., Srikant, S., and Rakesh, T., 2001. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. Journal of Medicine and Aromatic Plant Sciences. 22, 356-358.

Stahl-Biskup, E., Sáez, F., 2002. Thyme: the Genus Thymus. London: Taylor & Francis.

Sueldo, R.J., Invernati, A., Plaza, S.G., Barassi, C.A., 1996. Osmotic stress in wheat seedlings: effects on fatty acid composition and phospholipid turnover in coleoptiles. Cereal Research Communications. 24(1), 77–84. http://www.jstor.org/stable/23783920

Taiz, L. Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A., 2015. Plant Physiology and Development. 6th Edition, Sinauer Associates, Sunderland, CT

Uppalapati, S.R., Ayoubi, P., Weng, H., Palmer, D.A., Mitchell, R.E., Jones, W., Bender, C.L., 2005. The phytotoxin coronatine and methyl jasmonate impact multiple phytohormone pathways in tomato. The Plant Journal. 42, 201–217. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02366.x

Wang, B., Li, Z., Eneji, E.A., Tian, X., Zhai, Z., Li, J., Duan, L., 2008. Effects of coronatine on growth gas exchange traits chlorophyll content antioxidant enzymes lipid peroxidation in maize (*Zea mays* L.) seedling under simulated drought stress. Plant Production Science. 11, 283-290. https://doi.org/10.1626/pps.11.283

Wani, A R., Yadav, K., Khursheed, A., Rather, M.A., 2020. An updated and comprehensive review of the antiviral potential of essential oils and their chemical constituents with special focus on their mechanism of action against various influenza and coronaviruses. Microbial Pathogenesis. 152. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104620

Zare Dehabadi, S., 2013. Evaluation the effects of coronatine and sSodium nitroprusside pretreatment in reduction of oxidative stress induced by arsenic as heavy metal and change in some secondary metabolites in *Ocimum basilicum* L. Ph. D. Thesis, Department of Biology, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran [In Persian].