

بررسی سیستم‌های مختلف حاصلخیزی خاک بر برخی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و میزان اسانس مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) در شرایط مختلف رطوبتی

مصطفی گواهی^۱، امیر قلاوند^{۲*}، فرزاد نجفی^۳ و علی سروش‌زاده^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، پست الکترونیک: ghalavaa@modares.ac.ir

۳- استادیار، گروه کشاورزی، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۴

تاریخ اصلاح نهایی: فروردین ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۳

چکیده

مریم‌گلی یک گیاه دارویی متداول است که به‌طور گسترده‌ای در صنایع غذایی و داروسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌منظور بررسی کودهای آلی و بیولوژیک بر خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و میزان اسانس گیاه دارویی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) در شرایط مختلف رطوبتی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۵ تیمار و سه تکرار در سال ۱۳۹۱ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری (I) در سه سطح: آبیاری پس از مصرف ۴۰٪ رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه (I₁)، آبیاری پس از مصرف ۶۰٪ رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه (I₂)، آبیاری پس از مصرف ۸۰٪ رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه (I₃) و سامانه‌های حاصلخیزی خاک در پنج سطح: عدم مصرف کود (F₀)، کود شیمیایی اوره (Ur)، باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن (NFB)، ورمی‌کمپوست (V) و ورمی‌کمپوست + باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن (V+NFB) بودند که تیمار آبیاری در کرت‌های اصلی و سامانه‌های حاصلخیزی خاک در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. نتایج آزمایش نشان داد که تمام صفات مورد بررسی به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و سامانه‌های حاصلخیزی خاک قرار گرفت. با افزایش تنش خشکی کلروفیل a، b، کل و عملکرد خشک کاهش یافت، اما مقدار قند، پروتئین و مقدار اسانس افزایش یافت. بررسی نتایج نشان داد که بالاترین مقادیر کلیه صفات اندازه‌گیری شده مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست+باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بود. همچنین نتایج آزمایش نشان داد که بالاترین مقدار اسانس (۱/۱۰٪) و عملکرد اسانس ($20/50 \text{ l ha}^{-1}$) از تیمار ورمی‌کمپوست + باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن تحت تنش متوسط (I₂) بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.)، ورمی‌کمپوست، کود زیستی، نیتروژن، رطوبت خاک.

مقدمه

به‌دلیل خواص دارویی فراوان مورد استفاده قرار می‌گرفته و در طب سنتی به‌عنوان ضداسپاسم، قابض، آرامش‌بخش، کاهش‌دهنده قند خون، ضدالتهاب و کاهش‌دهنده تعریق استفاده

مریم‌گلی با نام علمی *Salvia officinalis* L. متعلق به خانواده Lamiaceae است. این گونه از گذشته بسیار دور

کرده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان شده است (Arancon et al., 2004b).

استفاده باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه یا اصطلاحاً PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) یکی دیگر از راه‌های تأمین حاصلخیزی خاک در نظام‌های کشاورزی پایدار می‌باشد (Sharma, 2002). فراهم‌سازی شرایط لازم برای استفاده بیشتر از فرایندهای طبیعی مانند تثبیت زیستی نیتروژن یکی از راهکارهای تولید بهینه محصول و مهمتر از آن حفظ سلامت محیط‌زیست است که امروزه در کشورهای مختلف به‌طور جدی دنبال می‌شود. از این‌رو، به‌منظور استقرار یک سیستم کشاورزی پایدار، بکارگیری کودهای زیستی از اهمیت بسزایی برخوردار است (Shaharoon et al., 2006). استفاده از باکتری‌ها (ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و سودوموناس) به‌عنوان کود زیستی باعث افزایش کارایی کودهای نیتروژن و فسفر و در نتیجه بهبود رشد چندین گیاه زراعی شده است (Roesty et al., 2006; Shaharoon et al., 2006).

در پژوهشی که با استفاده از مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست در گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) انجام شد، نتایج نشان داد که مصرف ورمی‌کمپوست باعث افزایش کمیت و کیفیت اسانس، عملکرد اسانس و عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار شاهد شد (Anwar et al., 2005). نتایج تحقیقی بر روی گیاه دارویی بابونه رومی (*Anthemis nobilis*) نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش میزان اسانس و کیفیت آن شد (Luic & Pank, 2005). نتیجه تحقیقی روی گیاه دارویی آنیسون (*Pimpinella anisum* L.) نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست و باکتری‌های *Azospirillum* و *Pseudomonas* سبب بهبود درصد و عملکرد اسانس شد (Khalessro et al., 2012). در آزمایشی در کشور کوبا اثر کودهای بیولوژیک را روی دو گیاه دارویی بابونه و همیشه‌بهار مورد بررسی قرار دادند. نتایج حکایت از آن داشت که کاربرد این کودها در همیشه‌بهار باعث افزایش عملکرد اسانس و بهبود کیفیت دارویی آن

می‌شده است (Piccaglia et al., 1997). در تحقیقات بعمل آمده وجود برخی ترکیب‌های موجود در اسانس مریم‌گلی نظیر توجون، سینئول و کامفور را مسئول خواص ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و احتمالاً ضد سرطان می‌دانند (Piccaglia et al., 1997). در تحقیقات اخیر نشان داده شده است که اسانس مریم‌گلی می‌تواند موجب بهبود حافظه شود که این نتایج امید را در درمان بیماری آلزایمر به وجود آورده است (Perry et al., 2005). کاربرد این گیاه به‌عنوان چاشنی نیز در صنایع غذایی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. امروزه اسانس مریم‌گلی یکی از مهمترین طعم‌دهنده‌های غذایی محسوب می‌شود و از معدود گیاهانی است که شدت طعم در برگ‌های آن با خشک شدن افزایش می‌یابد. ساخت انواعی از اسانس‌های مصنوعی با استفاده از اسانس این گیاه، به‌منظور کاربرد در صنایع آرایشی و بهداشتی از دیگر موارد مصرف آن می‌باشد (Ortiz, 1996).

مدیریت حاصلخیزی خاک یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی محسوب می‌شود (Omidbaygi, 1995). اهمیت گیاهان دارویی، وجود ماده مؤثر در آنهاست. کاربرد صحیح و مناسب عناصر و مواد غذایی در طول مراحل کاشت، داشت و برداشت گیاهان دارویی، نه تنها نقش عمده‌ای در افزایش عملکرد دارد بلکه در کمیت و کیفیت مواد مؤثره آنها نیز بسیار مؤثر است (Vildova et al., 2006). کاربرد کود مناسب یک عامل اصلی در کشت موفقیت‌آمیز گیاهان دارویی می‌باشد (Carrubba et al., 2002). با توجه به تأکیدی که کشاورزی پایدار بر افزایش کیفیت و پایداری عملکرد دارد، در گیاهان دارویی که محصولات کیفی می‌باشند، ورمی‌کمپوست گزینه مناسبی برای این سیستم محسوب می‌شود و به نظر می‌رسد که در چنین شرایطی، بهبود رشد و عملکرد از آنها حاصل شود (Mahboub, 2008). ورمی‌کمپوست دارای قدرت بالای جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی، و در نتیجه تخلخل زیاد، تهویه و زهکشی مناسب می‌باشد و استفاده از آن در کشاورزی پایدار، علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه عمل

ضروری به نظر می‌رسد. به عبارت دیگر می‌توان با مدیریت مصرف آب و سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای، شرایط را به گونه‌ای فراهم کرد که گیاه تحت آن شرایط، به پتانسیل بالقوه خود نزدیک‌تر شده و حداکثر عملکرد کمی و کیفی را تولید کند. از این‌رو هدف از انجام این آزمایش بررسی سیستم‌های مختلف حاصلخیزی خاک بر برخی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و میزان اسانس مریم‌گلی در شرایط مختلف رطوبتی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی سیستم‌های مختلف حاصلخیزی خاک بر برخی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و میزان اسانس مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) در شرایط مختلف رطوبتی در سال ۱۳۹۱ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. متوسط بارندگی منطقه ۲۴۸ میلی‌متر و دمای متوسط ۱۷/۶۹ درجه سانتی‌گراد بوده است. جدول ۱ میزان بارندگی و میانگین درجه حرارت ماهیانه را در سال زراعی آزمایش نشان می‌دهد. براساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۲)، بافت خاک مزرعه لومی‌شنی (Sandy loam) تشخیص داده شده است. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد.

تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری (I) در سه سطح: آبیاری پس از مصرف ۴۰٪ رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه (I₁)، آبیاری پس از مصرف ۶۰٪ رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه (I₂)، آبیاری پس از مصرف ۸۰٪ رطوبت قابل استفاده در عمق توسعه ریشه (I₃) و سامانه‌های حاصلخیزی خاک در پنج سطح: عدم مصرف کود (F₀)، کود شیمیایی اوره (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) (Ur)، باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن (ازتوباکتر+آزوسپریلیوم+سودوموناس) (NFB)، ورمی‌کمپوست (۸ تن در هکتار) (V)، ورمی‌کمپوست + باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن (V+NFB) می‌باشد. کود زیستی مصرف شده شامل مخلوطی از باکتری‌های ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و سودوموناس به نسبت ۳۳:۳۳:۳۳ بود که از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. نشاهای مریم‌گلی (در مرحله ۵-۴ برگگی) نیز از پژوهشکده گیاهان

شد، در حالی که در بابونه باعث افزایش عملکرد گل شد اما بر کیفیت اسانس اثری نداشت (Sanches Govin *et al.*, 2005).

یکی از مهمترین محدودیت‌های تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود آب می‌باشد (Reddy *et al.*, 2004). تنش خشکی ضمن کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان، باعث محدود شدن رشد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در آنها می‌گردد (French & Turner, 1991). گیاهان در شرایط تنش خشکی راهکارهایی برای مقابله با خشکی دارند که تجمع آسمولیت‌های پرولین از واکنش‌های شایع برای مقابله با خشکی می‌باشد (Trovalo *et al.*, 2008). تجمع پرولین و هیدرات‌های کرین محلول در تمام اندام‌های هوایی گیاه در طی تنش وجود دارد، با وجود این میزان آن در برگ‌ها بیش از دیگر اندام‌ها می‌باشد. سطح بالای پرولین گیاه را قادر می‌سازد که پتانسیل آبی پایین را حفظ کند، همچنین پرولین می‌تواند مسمومیت رادیکال‌های آزاد را رفع کند (Manivannan *et al.*, 2008).

فتوسنتز که یکی از فرایندهای مهم فیزیولوژیکی گیاه است، شدت آن در کمبود آب کاهش می‌یابد. دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ در شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است. تنش خشکی باعث تولید اکسیژن فعال همراه با کاهش و تجزیه کلروفیل می‌شود. طی تنش، کلروفیل در کلروپلاست تجزیه و ساختارهای تیلاکوئید ناپدید می‌شوند (Tarahomi *et al.*, 2010). نتیجه تحقیقی روی گیاه دارویی بادرشیبو (*Dracocephalum moldavica* L.) نشان داد که بالاترین مقادیر غلظت کلروفیل کل، کلروفیل a، کلروفیل b و عملکرد اسانس مربوط به تیمار ۹۰٪ ظرفیت مزرعه بود، ولی بیشترین مقادیر پرولین، قندهای محلول و درصد اسانس به تیمار ۳۰٪ ظرفیت مزرعه اختصاص داشت (Karimzadeh *et al.*, 2014).

مدیریت مواد غذایی مورد نیاز گیاه به‌ویژه در شرایط تنش خشکی که مدیریت مصرف آب نیز مطرح می‌باشد و ارزیابی تأثیر این گونه مدیریت‌ها بر کمیّت و کیفیت گیاه دارویی مریم‌گلی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و تحقیقات مرتبط

گردید و در تیمار سوم آبیاری (I_3)، آبیاری زمانی انجام گردید که ۸۰٪ رطوبت قابل استفاده در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری خاک تخلیه شد. برای کنترل رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه از لوله‌های دستگاه T.D.R (Time-Domain Reflectometry, Model TRIME-FM, England) در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری کرت‌ها استفاده شد. در ماه اول به‌منظور استقرار نشاها، تیمارها براساس شاهد آبیاری شدند. عملیات وجین علف‌های هرز در سه مرحله و به‌صورت دستی انجام شد. قبل از برداشت، نمونه‌برداری برای سنجش کلروفیل، قند و پرولین انجام شد. اندازه‌گیری کلروفیل (Lichtenthaler, 1987)، پرولین و قند کل (Irigoyen et al., 1992) از برگ‌های تازه انجام شد. پس از برداشت پیکره رویشی گیاه، نمونه‌ها در سایه خشک شدند و بعد با روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر اسانس‌گیری شدند. داده‌های حاصل از نمونه‌برداری‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و مقایسه میانگین‌های صفات به روش LSD انجام شد.

دارویی جهاد دانشگاهی تهیه شد. پس از آماده‌سازی زمین، هر کرت آزمایشی شامل ۶ خط کاشت به فاصله ۶۰ سانتی‌متر و فاصله هر بوته روی خط ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت بلوک‌ها از یکدیگر ۲ متر و فاصله بین کرت‌ها در یک بلوک ۲ متر بود. کود ورمی‌کمپوست (جدول ۳) سه روز قبل از کاشت به کرت‌های مربوطه اضافه شد و توسط بیل دستی با خاک مخلوط شد. قبل از کاشت، نشاهایی که باید با باکتری‌ها تیمار شوند با مخلوط باکتری‌های ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و سودوموناس تلقیح شدند. برای تلقیح، ریشه‌های نشاهای مریم‌گلی به مدت ۴۵ دقیقه در محلول باکتری‌ها قرار داده شد. نشاها در تاریخ ۱۵ اردیبهشت به‌صورت جوی و پشته کشت شدند. تیمارهای آبیاری براساس روش تغییرات درصد حجمی رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه انجام شد. در تیمار اول آبیاری (I_1)، آبیاری زمانی انجام شد که ۴۰٪ رطوبت قابل استفاده در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری خاک توسط گیاه و یا در اثر تبخیر از سطح خاک تخلیه گردید و در تیمار دوم آبیاری (I_2)، آبیاری زمانی انجام شد که ۶۰٪ رطوبت قابل استفاده در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری خاک تخلیه

جدول ۱- میانگین دما و بارندگی در طی ماه‌های اجرای آزمایش در سال ۱۳۹۱

مهر	شهریور*	مرداد*	تیر*	خرداد	
۸/۳	۱۲/۳	۱۸/۱	۱۷/۶	۱۲/۸	متوسط دمای کمینه (°C)
۲۲/۵	۲۶/۹	۳۲/۴	۳۱/۹	۲۷/۱	متوسط دمای بیشینه (°C)
۱/۶	۴/۲	۰/۷	۴	۱/۹	بارندگی (mm)

*: ماه‌های اجرای تیمار تنش خشکی

جدول ۲- ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش

Mn	Cu	Zn	Fe	K(ava)	P(ava)	Total N	Organic carbon	Ec	pH	بافت
p.p.m	p.p.m	p.p.m	p.p.m	p.p.m	p.p.m	(%)	(%)	(ds m ⁻¹)		
۶/۳۰۴	۱/۲۸۴	۳/۷۹	۱۵/۰۳۴	۱۰۴۹	۱۶۰	۰/۱۶۵	۱/۸۲	۱/۰۸۷	۷/۲۹	لومی شنی

جدول ۳- مشخصات ورمی‌کمپوست مورد استفاده

Mn	Cu	Zn	Fe	K	P	Total N	Organic carbon	Ec	pH
(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ds m ⁻¹)	
۴۲۰۰	۱۱/۵	۸۸/۵	۴۸۰۰	۰/۵۷	۱/۸۵	۱/۱۲	۱۸	۴/۳۷	۷/۷۰

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و تیمارهای کودی

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	پرولین	کربوهیدرات	وزن خشک	مقدار اسانس	عملکرد اسانس
تکرار	۲	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۲۰ ns	۰/۰۰۸۷ ns	۰/۷۸۱ ns	۰/۰۰۰۹ ns	۰/۰۰۱۵ **	۰/۱۸۱۰ ns
آبیاری	۲	۱۰/۱۷ **	۰/۷۶۰ **	۱۶/۳۱ **	۱۶۱/۲۰ **	۲۲۲/۲۸۹ **	۱۱/۳۹۳ **	۰/۸۷۷۵ **	۲۹۵/۰۴۶ **
خطای a	۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳۱	۰/۰۱۰۳	۰/۱۴۳	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۴۲۹
تغذیه	۴	۰/۱۷۶ **	۰/۰۹۶ **	۰/۵۳۹ **	۴/۲۲۳ **	۴/۷۷۰ **	۱/۲۳۴ **	۰/۰۳۷۵ **	۱۱۰/۷۰۶ **
آبیاری × تغذیه	۸	۰/۰۰۳ **	۰/۰۰۱۴ **	۰/۰۰۴۱ **	۱/۱۹۷ **	۱/۱۹۷ **	۰/۱۱۲ **	۰/۰۰۲۱ **	۸/۴۶۷ **
خطای b	۲۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۱۱۷۶	۰/۱۸۷۴	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۲	۰/۲۹۱۳
ضریب تغییرات	-	۱/۵۸	۱/۲۳	۲/۷۰	۴/۹۵	۲/۸۴	۳/۷۸	۱/۹۰	۵/۴۷

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪ و n.s: غیرمعنی‌دار

نتایج

محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی نشان داد اثر برهم‌کنش سیستم‌های مختلف حاصلخیزی خاک و تنش خشکی بر محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۴). براساس جدول مقایسه میانگین‌ها بیشترین مقدار کلروفیل a, b و کلروفیل کل در تیمار مصرف ورمی‌کمپوست + باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و بدون تنش به ترتیب با مقادیر $(2/110 \text{ mg.g FW}^{-1})$ ، $(0/87 \text{ mg.g FW}^{-1})$ و $(2/98 \text{ mg.g FW}^{-1})$ و کمترین مقدار کلروفیل a, b و کلروفیل کل در تیمار عدم مصرف کود (شاهد) و تنش شدید به ترتیب با مقادیر $(0/149 \text{ mg.g FW}^{-1})$ ، $(0/11 \text{ mg.g FW}^{-1})$ و $(0/26 \text{ mg.g FW}^{-1})$ بود (جدول ۵).

محتوی قند و پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر برهم‌کنش سیستم‌های مختلف حاصلخیزی خاک و تنش خشکی بر صفات قند و پروتئین در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات برهم‌کنش تیمارها نشان داد که بیشترین میزان قند $(20/80 \text{ mg/g FW})$ و پرولین $(11/67 \mu\text{m/g FW})$ در تنش شدید و با استفاده از ورمی‌کمپوست + باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن حاصل شد و کمترین میزان قند $(11/60 \text{ mg/g FW})$ و پرولین $(4/10 \mu\text{m/g FW})$ در تیمار بدون تنش و عدم کوددهی (تیمار شاهد) بدست آمد (جدول ۵).

عملکرد خشک

تجزیه واریانس تیمارها نشان داد که اثر برهم‌کنش

تیمارها بر عملکرد خشک تأثیر معنی‌داری ($P 0/01$) داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش نشان داد که بیشترین عملکرد خشک در شرایط آبیاری مطلوب (بدون تنش) و با استفاده از تیمار ورمی‌کمپوست + باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن $(2872 \text{ Kg ha}^{-1})$ و کمترین عملکرد خشک در شرایط تنش شدید و عدم کوددهی (تیمار شاهد) (344 Kg ha^{-1}) بدست آمد (جدول ۵).

میزان اسانس

نتایج تجزیه واریانس تیمارها نشان داد که اثر برهم‌کنش تیمارها بر میزان اسانس تأثیر معنی‌داری ($P 0/01$) داشت (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش نشان داد که بیشترین میزان اسانس در تنش متوسط و با استفاده از تیمار ورمی‌کمپوست + باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن $(1/10 \text{ L ha}^{-1})$ و کمترین میزان اسانس در شرایط بدون تنش و عدم کوددهی $(0/37 \text{ L ha}^{-1})$ بدست آمد (جدول ۵).

عملکرد اسانس

تجزیه واریانس تیمارها نشان داد که اثر برهم‌کنش تیمارها بر عملکرد اسانس تأثیر معنی‌داری ($P 0/01$) داشت (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش نشان داد که بیشترین عملکرد اسانس در شرایط تنش متوسط و با استفاده از تیمار ورمی‌کمپوست + باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن $(20/50 \text{ L ha}^{-1})$ و کمترین عملکرد اسانس در شرایط بدون تنش و عدم کوددهی $(0/37 \text{ L ha}^{-1})$ بدست آمد (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و تیمارهای کودی

تیمار	کلروفیل a (mg.g FW ⁻¹)	کلروفیل b (mg.g FW ⁻¹)	کلروفیل کل (mg.g FW ⁻¹)	قند (mg/g FW)	پروترین (µm/g FW)	عملکرد خشک (Kg ha ⁻¹)	مقدار اسانس (%)	عملکرد اسانس (l ha ⁻¹)
رژیم آبیاری								
I ₁	۱/۹۵۶ a	۰/۷۰ a	۲/۶۶ a	۱۱/۷۰ c	۴/۱۲ c	۲۳۳۶ a	۰/۴۹ c	۱۱/۵۹ b
I ₂	۱/۲۲۶ b	۰/۴۰ b	۱/۶۵ b	۱۴/۶۵ b	۶/۱۵ b	۱۳۳۵ b	۰/۹۷ a	۱۳/۱۸ a
I ₃	۰/۳۱۲ c	۰/۲۶ c	۰/۵۷ c	۱۹/۳۳ a	۱۰/۵۳ a	۶۰۰ c	۰/۷۸ b	۴/۸۳ c
تیمارهای کودی								
F ₀	۰/۹۵۳ d	۰/۳۱ d	۱/۲۶ d	۱۴/۰۸ c	۵/۹۹ d	۹۴۵ e	۰/۶۶ d	۵/۵۹ e
U _r	۱/۲۱۲ b	۰/۴۷ b	۱/۷۱ b	۱۵/۲۱ b	۶/۹۲ bc	۱۴۷۷ c	۰/۷۳ c	۹/۳۰ c
V	۱/۲۰۳ b	۰/۴۷ b	۱/۶۷ b	۱۵/۶۳ a	۷/۲۱ b	۱۵۲۸ b	۰/۷۷ b	۱۱/۳۳ b
NFB	۱/۲۲۳ c	۰/۴۳ c	۱/۵۵ c	۱۵/۱۹ b	۶/۶۹ c	۱۲۱۹ d	۰/۷۴ c	۸/۱۹ d
V+NFB	۱/۳۳۱ a	۰/۶۰ a	۱/۹۳ a	۱۶/۰۲ a	۷/۸۶ a	۱۹۲۵ a	۰/۸۴ a	۱۴/۹۳ a
رژیم آبیاری × تیمار کودی								
I ₁ ×F ₀	۱/۷۳۷ d	۰/۵۲ e	۲/۶۰ c	۱۱/۶۰ i	۴/۱۰ i	۱۵۸۳ f	۰/۳۷ j	۶/۲۹ h
I ₁ ×U _r	۲/۰۲۶ b	۰/۷۲ b	۲/۷۴ b	۱۱/۶۷ i	۴/۲۰ i	۲۶۸۶ b	۰/۴۹ i	۱۳/۳۵ c
I ₁ ×V	۲/۰۰۰ b	۰/۷۰ c	۲/۷۰ b	۱۱/۸۰ i	۴/۱۰ i	۲۴۶۱ c	۰/۵۱ i	۱۲/۶۳ c
I ₁ ×NFB	۱/۹۱۰ c	۰/۶۸ d	۲/۵۹ d	۱۱/۶۳ i	۴/۰۰ i	۲۰۸۷ d	۰/۵۰ i	۱۰/۴۶ de
I ₁ ×V+NFB	۲/۱۱۰ a	۰/۸۷ a	۲/۹۸ a	۱۱/۸۰ i	۴/۲۰ i	۲۸۷۲ a	۰/۵۵ h	۱۵/۲۲ b
I ₂ ×F ₀	۰/۹۷۲ h	۰/۲۹ i	۱/۲۶ i	۱۳/۰۰ h	۴/۲۳ h	۹۰۷ i	۰/۸۹ d	۸/۰۷ g
I ₂ ×U _r	۱/۲۸۱ f	۰/۴۲ f	۱/۷۹ f	۱۵/۱۰ ef	۶/۲۷ g	۱۲۰۸ g	۰/۹۳ c	۱۱/۱۱ d
I ₂ ×V	۱/۲۷۴ f	۰/۴۱ f	۱/۶۸ g	۱۵/۰۷ efg	۶/۶۳ f	۱۵۲۷ f	۱/۰۰ b	۱۵/۲۷ b
I ₂ ×NFB	۱/۱۸۵ g	۰/۳۸ h	۱/۵۶ h	۱۴/۶۰ fg	۵/۹۰ g	۱۱۷۳ g	۰/۹۳ c	۱۰/۹۵ de
I ₂ ×V+NFB	۱/۴۱۶ e	۰/۵۳ e	۱/۹۴ e	۱۵/۴۷ e	۷/۷۰ e	۱۸۵۷ e	۱/۱۰ a	۲۰/۵۰ a
I ₃ ×F ₀	۰/۱۴۹ l	۰/۱۱ k	۰/۲۶ m	۱۷/۶۳ d	۹/۶۳ d	۳۴۴ l	۰/۷۰ g	۲/۴۱ j
I ₃ ×U _r	۰/۳۳۰ j	۰/۲۸ i	۰/۶۱ k	۱۸/۶۷ c	۱۰/۳۰ c	۴۴۹ k	۰/۷۸ f	۳/۴۴ i
I ₃ ×V	۰/۳۳۸ j	۰/۲۹ i	۰/۶۳ k	۲۰/۰۳ b	۱۰/۹۰ b	۷۵۷ j	۰/۸۰ e	۶/۰۸ h
I ₃ ×NFB	۰/۲۷۸ k	۰/۲۲ j	۰/۴۹ l	۱۹/۳۳ bc	۱۰/۱۶ cd	۴۰۵ kl	۰/۷۸ f	۳/۱۵ j
I ₃ ×V+NFB	۰/۴۶۶ i	۰/۳۹ g	۰/۸۶ j	۲۰/۸۰ a	۱۱/۶۷ a	۱۰۴۶ h	۰/۸۷ d	۹/۰۶ f

حروف یکسان در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵٪ می‌باشد.

I₁: آبیاری پس از تخلیه ۴۰٪ رطوبت قابل استفاده؛ I₂: آبیاری پس از تخلیه ۶۰٪ رطوبت قابل استفاده؛ I₃: آبیاری پس از تخلیه ۸۰٪ رطوبت قابل استفاده؛F₀: عدم مصرف کود؛ U_r: اوره؛ V: باکتری؛ NFB: ورمی‌کمپوست؛ V+NFB: ورمی‌کمپوست + باکتری

بحث

نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که تیمار بدون تنش بالاترین مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل را در بین سطوح مختلف رطوبت خاک داشت، در حالی که با افزایش تنش بر میزان قند و پرولین افزوده شد. همچنین بالاترین مقدار اسانس و عملکرد اسانس در تنش متوسط بدست آمد. یکی از فرایندهای مهم فیزیولوژیکی گیاه فتوسنتز است که شدت آن در کم آبی کاهش می‌یابد (Gusegnova et al., 2006). دوام فتوسنتزی و حفظ محتوای رنگرزه‌های فتوسنتزی برگ در شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است (Tarahomi et al., 2010). کلروفیل از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (Jiang & Huang, 2001). براساس نظر Schutz و Fangmeir (۲۰۰۱) کاهش میزان کلروفیل a در اثر تنش خشکی مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول می‌باشد. این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگرزه می‌شوند.

در شرایط تنش رطوبتی، با کاهش محتوی آب نسبی، تجمع پرولین و هیدرات‌های کربن محلول در تمام اندام‌های هوایی گیاه افزایش می‌یابد. پرولین یکی از آمینو اسیدهایی است که به‌طور معمول در پاسخ به تنش‌ها ظاهر می‌شود. گیاهان، پرولین را از گلوتامین در برگ‌هایشان سنتز می‌کنند. پرولین روی حلالیت پروتئین‌های مختلف اثر می‌گذارد و مانع تجزیه آنها می‌گردد. همچنین به‌عنوان یک منبع انرژی و یک اسید آمینه قابل استفاده خواهد بود. از طرف دیگر تنش رطوبتی سبب تجمع مواد سمی از جمله یون آمونیم می‌گردد. پرولین مانع اثر تخریبی این ماده سمی روی ترکیب لازم برای گیاه می‌شود (Lotfi et al., 2014). سطح بالای پرولین گیاه را قادر می‌سازد که پتانسیل آبی پایین را حفظ کند. همچنین پرولین می‌تواند مسمومیت رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش خشکی را رفع کند. عمده نتایج تحقیقات حکایت از افزایش پرولین در اثر تنش خشکی در گیاهان مختلف از جمله بابونه (Ahmadian et al., 2010)، همیشه‌بهار

(Jafarzadeh et al., 2013) و بادرشبو (Karimzadeh et al., 2014) داشت.

از طرفی در شرایط تنش خشکی هیدرولیز نشاسته تشدید و منجر به غلظت‌های بالایی از قندها می‌شود. اهمیت تجمع قندها به این دلیل است که این مواد سبب تنظیم فشار اسمزی و کاهش از دست دادن آب سلول و نگهداری تورژسانس می‌شوند. گروه هیدروکسیل قندهای الکلی با گروه OH آب برای باقی ماندن واکنش‌های آب‌دوستی لیپیدی و پروتئین‌های غشاء تعویض می‌شوند. بنابراین این مولکول‌ها به بی‌عیب باقی ماندن ساختارهای غشاء کمک می‌کنند. افزایش قند در شرایط تنش رطوبتی در گیاهان مختلف از جمله مریم‌گلی (Hendawy & Khalid, 2005)، بابونه آلمانی (Arazmjo et al., 2010)، ترخون (Lotfi et al., 2014) و سیاه‌دانه (Kabiri et al., 2014) گزارش شده است.

کاهش شدید عملکرد در شرایط اعمال تنش کم آبی را می‌توان به تأثیر منفی تنش بر رشد رویشی و به‌ویژه اجزای عملکرد مربوط دانست، زیرا بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فشار تورژسانس سلول‌های گیاهی در شرایط کمبود آب، می‌تواند قابلیت رشدی، فتوسنتزی و در نهایت عملکرد را کاهش دهد. نتایج تحقیقات حکایت از آن داشت که افزایش تنش خشکی در گیاهان مختلف موجب کاهش طول برگ، عرض برگ، طول ساقه‌های جانبی و عملکرد ماده خشک شد. در گیاه بادرشبی (Hassani, 2006) تنش خشکی کلیه اندام‌های هوایی را کاهش داد. گیاه مریم‌گلی در اثر تنش خشکی طول و عرض برگ را کاهش داد (Bettaieb et al., 2009). بالاترین درصد و عملکرد اسانس تولیدی در سطح I₂ مشاهده شد. نکته مهم این است که همیشه همراه با بالا رفتن میزان تنش، درصد اسانس نمی‌تواند افزایش یابد، زیرا در تنش‌های بالا گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیب‌های تنظیم‌کننده‌های اسمزی از جمله پرولین، گلیسین‌بتائین و ترکیب‌های قندی همانند ساکارز، فروکتوز و فروکتان می‌کند که بتواند پتانسیل آب سلولی را کاهش دهد. این ترکیب‌ها برای گیاه هزینه‌بر بوده و گیاه این هزینه را از

باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن با اثرات مثبتی که پیش‌تر ذکر شد تأثیر معنی‌دار و مثبتی بر فاکتورهای فیزیولوژیک (کلروفیل a، b، قند و پرولین) داشت و سبب افزایش مقادیر آنها شد. براساس نظر Marschner (۱۹۹۵) عمده این ترکیب‌ها دارای ساختار نیتروژنی هستند، از این‌رو استفاده از نیتروژن می‌تواند تا حد زیادی سبب افزایش مقدار آنها در گیاه شود.

در تفسیر نتیجه حاصل از بهبود میزان اسانس در اثر مصرف ورمی‌کمپوست + باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌توان چنین بیان کرد که کود مزبور با تأمین عناصر غذایی و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن سبب سهولت و تسریع انجام واکنش‌های شیمیایی برای تولید ترکیب‌های ترپنی اسانس می‌شود. از آنجایی‌که اسانس‌ها ترکیب‌های ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آنها (ایزوپرنوئیدها) مانند ایزوپنتیل پیروفسفات (IPP) و دی‌متیل آلیل پیروفسفات (DMAPP) نیاز مبرم به NADPH و ATP دارند، بنابراین حضور عناصری نظیر نیتروژن برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری می‌باشد.

در مورد عملکرد اسانس تیمار ورمی‌کمپوست + باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به دلیل داشتن اثر مثبت بر درصد اسانس و عملکرد خشک سبب افزایش عملکرد اسانس می‌گردد. براساس تحقیقات Abdelaziz و همکاران (۲۰۰۷) نیز کاربرد کمپوست و باکتری در گیاه رزماری موجب افزایش عملکرد اسانس گردید. گزارش تحقیق Khalesro و همکاران (۲۰۱۲) روی گیاه آنیسون نشان داد با بکارگیری ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن میزان و عملکرد اسانس افزایش یافت که با نتیجه تحقیق ما مشابهنه دارد.

براساس نتایج بدست‌آمده از این آزمایش، می‌توان بیان کرد که هر چند با کاهش آب مصرفی از عملکرد خشک گیاه مریم‌گلی کاسته و بر درصد اسانس آن افزوده شد اما با بکارگیری کود ورمی‌کمپوست به همراه باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌توان تا حدی از بروز اثرات سوء تنش خشکی بر عملکرد خشک تولیدی این گیاه کاست. این

کاهش عملکرد کل یا دانه جبران می‌کند (Munns, 1993). در این آزمایش مشاهده شد که با افزایش تنش از عملکرد خشک نیز کاسته می‌شود؛ اما این کاهش در همه موارد همراه با افزایش درصد اسانس نبود و تنها تا سطح I₂ این افزایش چشمگیر بود و در سطح I₃ درصد اسانس کاهش یافت. البته در گیاه آویشن (Babae et al., 2010) و ترخون (Lotfi et al., 2014) نتایج مشابهی با این تحقیق گزارش شد.

از آنجا که عملکرد اسانس حاصلضرب عملکرد خشک و درصد اسانس می‌باشد کاهش معنی‌دار عملکرد اسانس در تیمار تنش شدید مربوط به کاهش شدید عملکرد می‌باشد. عملکرد اسانس بالا در تیمار تنش متوسط نسبت به شرایط بدون تنش با وجود کاهش عملکرد خشک را می‌توان به افزایش قابل تأمل درصد اسانس در تیمار تنش متوسط نسبت داد. گزارش تحقیق Rezaei Nejad (۲۰۱۱) در زیره سبز و Arazmjo و همکاران (۲۰۱۰) در بابونه آلمانی و Ahmadian و همکاران (۲۰۱۰) روی بابونه آلمانی و همچنین Moosavi و همکاران (۲۰۱۴) در رازیانه بیانگر کاهش معنی‌دار عملکرد اسانس در شرایط تنش کم آبی می‌باشد که با نتیجه تحقیق ما مشابهنه دارد.

بالاترین مقادیر تمام صفات اندازه‌گیری شده شامل محتوی رنگریشه‌های فتوسنتزی، قند، پرولین، میزان و عملکرد اسانس در بین سیستم‌های مختلف حاصلخیزی خاک به تیمار ورمی‌کمپوست + باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن اختصاص داشت.

اثرات مثبت و هم‌افزایی بین ورمی‌کمپوست و باکتری باعث افزایش فعالیت باکتری‌های موجود در خاک می‌گردد و باکتری‌ها در ناحیه ریزوسفر از طریق مکانیسم‌هایی مانند تولید هورمون‌های محرک رشد سبب افزایش رشد ریشه می‌شوند (Chen, 2006). علاوه بر این به دلیل اثر مثبت آنها بر بستر رشد، افزایش سطح ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی، موجب افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی، رشد و عملکرد گیاه می‌گردند (Abdelaziz et al., 2007). در این آزمایش استفاده از کودها به‌ویژه ورمی‌کمپوست +

- of greenhouse peppers. Bioresource Technology, 93: 139-143.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C. and Metzger, J.D., 2004b. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology, 93: 145-153.
 - Arancon, N.Q., Galvis, P.A. and Edwards, A., 2005. Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts, Bioresource Technology, 96(10): 1137-1142.
 - Arazmjo, A., Heidari, M. and Ghanbari, A., 2010. The effect of water stress and three sources of fertilizers on flower yield, physiological parameters and nutrient uptake in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 25(4): 482-494.
 - Babaee, K., Amini Dehaghi, M., Modares sanavi, S.A.M. and Jabbari, R., 2010. Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of thyme (*Thymus vulgaris* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26(2): 239-251.
 - Bettaieb, I., Zakhama, N., Wanes, W. and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on (*Salvia officinalis*) fatty acids and essential oils composition. Scientia Horticulturæ, 120(2): 271-275.
 - Carrubba, A., Latorre, R. and Matranga, M., 2002. Cultivation trials of some aromatic and medicinal plants in a semi-arid mediterranean environment. Acta Horticulture, 576: 207-213.
 - Chen, J.H., 2006. The combined use of chemical and organic fertilizer for crop growth and soil fertility. International Workshop on Sustainable Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use, Thailand, 16-20 October: 1-11.
 - French, R.J. and Turner, N.C., 1991. Water deficit change dry matter partitioning and seed yield in narrow leafed lupines. Australian Journal of Agricultural Research, 42: 471-484.
 - Gusegnova, I.M., Suleymanov, S.Y. and Aliyev, J.A., 2006. Protein composition and native state of pigments of thylakoid membrane of Wheat genotypes differently tolerant to water stress. Biochemistry, 71(2): 173-177.
 - Hassani, A., 2006. Effect of water deficit on growth, yield and essential oil content of *Dracocephalum moldavica*. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 22(3): 256-261.
 - Hendawy, S.F. and Khalid, Kh.A., 2005. Response of sage (*Salvia officinalis* L.) plants to zinc application under different salinity levels. Journal of Applied Sciences Research, 1(2): 147-155.
- کاهش مرتبط با تأثیر مثبت مصرف این کود بر پارامترهای فیزیولوژیک مانند کلروفیل a و کلروفیل b، میزان تجمع قند و پرولین است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً خواص شیمیایی و فیزیکی هیومیک اسید موجود در ورمی‌کمپوست، از طریق افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و افزایش هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد (Arancon et al., 2005) و همچنین افزایش فعالیت میکروارگانیزم‌ها (Arancon et al., 2004a) باعث افزایش تجمع ازت توسط گیاه می‌شود و از آنجایی که ترکیب‌های عمده صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده و همچنین اسانس‌ها دارای ساختار نیتروژنی می‌باشند موجب بهبود این صفات شده‌است. در اثر تنش خشکی از مقدار کلروفیل a و کلروفیل b کاسته و بر میزان تجمع قند و پرولین افزوده شد. اما در بالاترین سطح تنش خشکی (I_3) ورمی‌کمپوست + باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن با تأثیر مثبت بر میزان تجمع آنها توانست تا حدی از بروز اثرهای تنش بر گیاه مریم‌گلی کاسته و سبب افزایش عملکرد شود.

منابع مورد استفاده

- Abdelaziz, M., Pokluda, R. and Abdelwahab, M., 2007. Influence of compost, microorganisms and NPK fertilization upon growth, chemical composition and essential oil production of *Rosmarinus officinalis* L. Notulae Botanica Horti Agrobotanici Cluj-Napoca Journal, 35(1): 86-90.
- Ahmadian, A., Ghanbari, A., Siahars, B., Heidari, M., Ramroodi, M. and Moosavi-Nik, S.M., 2010. Residual Effect of Chemical and Animal Fertilizers and Compost on Yield, Yield Components, Physiological Characteristics and Essential Oil Content of *Matricaria chamomilla* L. under Drought Stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 8(4): 668-676.
- Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A.A. and Khanuja, S.P.S., 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36(13-14): 1737-1746.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Atieyh, R.M. and Metzger, J.D., 2004a. Effect of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields

- early season drought stress. *Global Journal of Molecular Sciences*, 3(2): 50-56.
- Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plant*. Academic Press, London, 862p.
 - Moosavi, S.M., Moosavi, S.G.R. and Seghatoleslami, M.J., 2014. Effect of drought stress and nitrogen levels on growth, fruit and essential oil yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(3): 453-462.
 - Munns, R., 1993. Physiological process limiting plant growth in saline soil: some dogmass and hypotheses. *Plant Cell and Environment*, 16: 15-24.
 - Omidbaygi, R., 1995. *Approaches for Production and Processing of Medicinal Plants* (Vol.). Tarrahan Nashr Publication, Tehran, Iran, 424p.
 - Ortiz, E.L., 1996. *Encyclopedia of Herbs, Spices and Flavouring*. Dorling Kindersley, UK, 288p.
 - Perry, E.K., Pickering, A.T., Wang, W.W., Houghton, P.J. and Perry, N.S.L., 2005. Medicinal plants and Alzheimer's disease: from ethnobotany to phytotherapy. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 51: 527-534.
 - Piccaglia, R., Marotti, M. and Dellacecca, V., 1997. Effect of planting density and harvest Ddate on yield and chemical composition of sage oil. *Journal of Essential Oil Research*, 9: 187-191.
 - Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161: 1189-1202.
 - Rezaei Nejad, A., 2011. Productivity of cumin (*Cuminum cyminum* L.) as affected by irrigation levels and row spacing. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(3): 151-157.
 - Roesty, D., Gaur, R., Johri, B.N., Imfeld, G., Sharma, S., Kawaljeet, K. and Aragno, M., 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bioinoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. *Soil biology and biochemistry*, 38(5): 1111-1120.
 - Sanches Govin, E., Rodrigues Gonzales, H. and Carballo Guerra, C., 2005. Influencia de los abonos organicos y biofertilizantes en la calidad de las especies medicinales *Calendula officinalis* L. and *Matricaria recutita* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 10(1): 1-6.
 - Schutz, M. and Fangmeir, A., 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution*, 114(2): 187-194.
 - Irigoyen, J.J., Emerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84: 55-60.
 - Jafarzadeh, L., Omid, H. and Bostani, A.A., 2013. Effect of drought stress and bio-fertilizer on flower yield, photosynthesis pigments and proline content of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 29(3): 666-680.
 - Jiang, Y. and Huang, B., 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, 41(2): 436-442.
 - Kabiri, R., Farah Bakhsh, H. and Nasibi, F., 2014. Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics of *Nigella sativa* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(4): 600-609.
 - Karimzadeh, KH., Sefidkon, F., Majnoon Hosseini, N. and Peighambari, S.A., 2014. The effect of different levels of soil moisture, Zeolite and biofertilizers on physiological characteristics, Yield and essential oil of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(1): 158-173.
 - Khalesro, Sh., Ghalavand, A., Sefidkon, F. and Asgharzadeh, A., 2012. The effect of biological and organic inputs on quantity and quality of essential oil and some elements content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(4): 551-560.
 - Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Method in Enzymology*, 148: 350-382.
 - Lotfi, M., Abbaszadeh, B. and Mirza, M., 2014. The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(1): 19-29.
 - Luic, J. and Pank, B., 2005. Effect of vermicompost and fertility levels on growth and oil yield of Roman chamomile. *Scientia Pharmaceutica*, 46: 63-69.
 - Mahboub Khomami, A., 2008. The Effects of Kind and Rate of Vermicompost in Pot Medium on the Growth of *Ficus bengamina*. *Seed and Plant Improvement Journal*, 24(2): 333-349.
 - Manivannan, P., Jaleel, C.A., Zhao, C.X., Somasundaram, R., Azooz, M.M. and Panneerselvam, R., 2008. Variations in growth and pigment composition of sunflower varieties under

- potassium in *Salvia leriifolia* Benth. The Journal of Biological Sciences, 3(2): 1-7.
- Trovato, M., Mattioli, R. and Costantino, P., 2008. Multiple roles of proline in plant stress tolerance and development. Rendiconti Lincei, 19(4): 325-346.
 - Vildova, A., Stolcova, M., Kloucek, P. and Orsak, P.M., 2006. Quality characterization of chamomile (*Matricaria recutita* L.) in organic and traditional agricultures. International Symposium on Chamomile Research Development and Production, Presov, Slovak Republic, 7-10 June: 81-82.
 - Shaharoon, B., Arshad, M., Zahir, Z.A. and Khalid, A., 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Soil Biology and Biochemistry, 38(9): 2971-2975.
 - Sharma, A., 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India, 300p.
 - Tarahomi, G., Lahoty, M. and Abbasi, F., 2010. Evaluation of the effects of water stress on changes of soluble sugars, content of chlorophyll and

Archive of SID

Effects of different soil fertility systems on some physiological characteristics, yield and essential oil of sage (*Salvia officinalis* L.) under different irrigation regimes

M. Govahi¹, A. Ghalavand^{2*}, F. Nadjafi³ and A. Sorooshzadeh⁴

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2*- Corresponding author, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

E-mail: ghalavaa@modares.ac.ir

3- Department of Agriculture, Medicinal Plants and Drug Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

4- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: January 2015

Revised: April 2015

Accepted: April 2015

Abstract

Sage, a popular medicinal plant, is widely used in food and pharmaceutical industries. This research was aimed to study the effects of organic and biological fertilizers on physiological characteristics, yield, and essential oil content of sage (*Salvia officinalis* L.) under different moisture conditions. The study was conducted in a field experiment in split-plot design with 15 treatments and three replications at Tarbiat Modares University in 2012. Treatments included three irrigation levels (irrigation after depletion of 40% available water, irrigation after depletion of 60% available water, and irrigation after depletion of 80% available water) and five different soil fertility systems (control (no fertilizer) (F_0), chemical fertilizer (urea) (Ur), nitrogen fixing bacteria (NFB), vermicompost (V), vermicompost + nitrogen fixing bacteria (V+MFB), allocated to main plots and subplots, respectively. Results indicated that the irrigation regimes had significant effect ($p \leq 0.01$) on all measured traits. Chlorophyll a, b, and dry matter declined with increasing of water stress, but sugar, proline and essential oil content increased. Results showed that the highest values of all measured traits were related to the vermicompost + nitrogen fixing bacteria treatment. In addition, results showed that the highest essential oil percentage (1.10%) and essential oil yield (20.50 l ha^{-1}) were obtained in vermicompost + nitrogen fixing bacteria treatment under moderate drought stress (I_2).

Keywords: Sage (*Salvia officinalis* L.), vermicompost, biofertilizer, nitrogen, soil moisture.