تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۴۲۵-۴۳۷
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.2893.1744

مقاله پژوهشی

بررسی صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد کمی و کیفی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و کاربرد انواع کود نیتروژن

حسین ابراهیمی اسبورزی[۱]، سید علی‌محمد مدرس‌ثانوی[۲*]، ابوالفضل باغبانی آرانی[۳]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲. استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳. استادیار بخش کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۲

چکیده

آب و نیتروژن، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی می‌باشند. به‌منظور بررسی اثرات تنش کم‌آبی و انواع کودهای نیتروژن بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، عملکرد بیولوژیک و درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۷ اجرا گردید. داده‌های آزمایش با نرم‌افزار آماری SAS 9.2 آنالیز گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه رژیم آبیاری (آبیاری در حد ظرفیت مزرعه و به ترتیب بعد از تخلیه ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درصد آب قابل‌استفاده در منطقه ریشه) به‌عنوان عامل اصلی و شش تیمار کودی بر اساس نیتروژن موردنیاز گیاه (به ترتیب ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، بدون کود، ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد آزوکمپوست، ۱۰۰ درصد ورمی‌کمپوست، ۱۰۰ درصد آزوکمپوست و ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر تمامی تیمارهای آزمایشی و برهمکنش بین آن‌ها بر تمامی صفات موردمطالعه معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، به ترتیب تنش ملایم و شدید کم‌آبی، سبب کاهش معنی‌دار (۱۸/۲ و ۴۲/۹۲ درصدی) ارتفاع و (۱۵/۱۱ و ۵۱/۹۸ درصدی) عملکرد بیولوژیک گیاه گردید درحالی‌که میزان رنگ‌دانه‌ها، کارتنوئید، آنتوسیانین، پرولین و درصد اسانس به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. کاربرد کود نیتروژن، سبب افزایش معنی‌دار تمامی صفات اندازه‌گیری شده گردید. در اکثر صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش، تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی و ۵۰ درصد کود ورمی‌کمپوست حتی در شرایط تنش شدید کم‌آبی مطلوب‌تر از بقیه تیمارها ارزیابی گردیدند. همچنین نتایج نشان داد که اگر هدف از کاشت گیاه دارویی نعناع فلفلی، عملکرد کیفی (درصد اسانس) گیاه باشد با اعمال تنش شدید کم‌آبی می‌توان ضمن تولید بالاترین درصد اسانس، بیش از ۵۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کرد و همچنین در راستای تولید دارویی سالم و همگام با کشاورزی پایدار می‌توان، کود ورمی‌کمپوست را جایگزین کود شیمیایی نیتروژن کرد.

واژه‌های کلیدی: **آزوکمپوست، اوره، تنش کم‌آبی، محتوای اسانس، ورمی‌کمپوست**

مقدمه

نعناع فلفلی با نام علمی (*Mentha piperita* L.) گیاهی چندساله از خانواده نعناعیان، یکی از گیاهان دارویی پرمصرف است که علاوه بر آثار درمانی به‌عنوان طعم‌دهنده در تولید محصولات غذایی و دارویی مختلف به کار می‌رود. اسانس این گیاه یکی از معروف‌ترین و رایج‌ترین روغن‌های اسانس مورداستفاده است و این به دلیل ترکیب‌های اصلی آن یعنی منتول و منتون می‌باشد. خانواده نعناعیان با انتشار و توزیع جهانی از قطب شمال تا جنوب به‌طور گسترده در بسیاری از کشورها عمدتاً به‌عنوان گیاه دارویی باارزش کشت می‌شود (Kheiry et al., 2017; Keshavarz et al., 2018).

* نگارنده پاسخگو: سید علی‌محمد مدرس‌ثانوی. پست الکترونیک: modaresa@modares.ac.ir

گستردگی کشت آن در جهان، این گیاه را با تنش غیرزنده ازجمله تنش کم‌آبی در طول فصل رشد مواجه خواهد کرد. از طرفی، کمیت و کیفیت مواد مؤثره گیاهان دارویی علاوه بر ژنوتیپ، تحت تأثیر عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرد (Baghbani- Arani et al., 2017a; Kheiry et al., 2017). ازاین‌رو روش‌هایی که بتواند تولید و افزایش ترکیب‌های ثانویه را در گیاهان دارویی موجب گردد در حال گسترش می‌باشند.

آب و کود نیتروژن از عوامل عمده تعیین‌کننده سطح تولیدات کشاورزی در جهان هستند که علاوه بر آن بر کمیت و کیفیت گیاهان دارویی نیز مؤثر می‌باشند (Baghbani-Arani et al., 2017b). بر اساس گزارش فائو حدود ۹۰ درصد از کشور ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (Daneshmand et al., 2009). در این شرایط تنش‌های محیطی غیرزنده برای گیاهان اتفاق می‌افتد. بهبود تولیدات گیاهی در این شرایط تنش، مدیریت خوب نهاده‌هایی (از قبیل آب و مواد غذایی)، مقدار و نوع آن‌ها و اطلاع از مراحل فیزیولوژیکی مهم و مکانیسم‌های دفاعی گیاه را ضروری می‌سازد. تنش آبی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای متابولیسم گیاهان را تغییر داده و باعث کاهش رشد و فتوسنتز و درنهایت عملکرد گیاهان می‌شود. در چنین وضعیتی مدیریت مؤثر مصرف آب در کشاورزی یک ضرورت اساسی است. یکی از اثرات تنش کم‌آبی ممانعت از فتوسنتز و تغییر در محتوی کلروفیل، رنگیزه‌های فتوسنتزی و خسارت به دستگاه فتوسنتزی است. یکی دیگر از تغییرات بیوشیمیایی که در گیاهان ازجمله (نعناع) تحت تنش خشکی ایجاد می‌شود، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن است که سمی و بسیار واکنش‌پذیرند و در غیاب مکانیسم‌های حفاظتی می‌توانند متابولیسم طبیعی سلول را به میزان زیادی مختل کنند (Rostami et al., 2018). شناسایی مکانیسم‌های سازگاری و مقاومت به تنش‌ها از اهمیت زیادی در نحوه و چگونگی مقابله با آن‌ها برخوردار است (Baghbani- Arani et al., 2017b). تطابق با کم‌آبی نتیجه یکسری واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی است که به حفظ آب، کلروپلاست و نگهداری هموستازی یون‌ها کمک می‌کند. در شرایط بروز تنش خشکی، گیاهان به‌منظور ادامه جذب آب، از طریق تجمع اسمولیت‌های سازگار ازجمله کربوهیدرات، پرولین و گلایسین بتائین پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهند (Baghbani- Arani et al., 2017b; Rostami et al., 2018). علاوه بر آن‌ها می‌توان به مکانیسم‌های حفاظتی دیگری در جهت کاهش خسارات وارده به غشای سلولی ازجمله افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانتی (آنزیمی مثل سوپر اکسیددسموتاز، کاتالاز و پراکسیدازها و غیرآنزیمی مثل کارتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها) در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی اشاره کرد. بسیاری از مطالعات نشان داده است که یک سیستم آنتی‌اکسیداتیو کارآمد به همراه افزایش تجمع پرولین در گیاه می‌تواند نقش مهمی در تحمل به خشکی ایفا نماید (Baghbani- Arani et al., 2017b). در تحقیقی رستمی و همکاران (Rostami et al., 2018) گزارش کردند که تنش خشکی سبب افزایش کلروفیل a، b و کل و میزان پرولین و کربوهیدرات برگ نعناع سبز (Mentha spicata L.) و کاهش صفات رویشی گیاه از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، طول برگ، عرض برگ و وزن‌تر و خشک برگ و ساقه گردید و همچنین بیان داشتند که نعناع سبز گیاهی بسیار حساس به تنش خشکی (به علت ریشه، ریزوم و استولون سطحی) است و با توجه به کاهش شاخص‌های رشد و فرایندهای فیزیولوژیکی ناشی از تنش خشکی، کاربرد اسید هیومیک به‌ویژه در غلظت بالا، می‌تواند به‌عنوان کود آلی هم‌راستا با کشاورزی پایدار در تنظیم پتانسیل اسمزی نعناع سبز تحت شرایط تنش خشکی ملایم تا حدودی مؤثر باشد.

اثر مثبت کودهای شیمیایی نیتروژنه بر عملکرد کمی و کیفی نعناع فلفلی توسط محققین گزارش شده است (Keshavarz et al., 2018; Abyar et al., 2017). در این راستا، استفاده از تکنیک‌های زراعی ازجمله کاربرد کودهای آلی با تقویت شرایط بیولوژیک خاک ممکن است در کاهش اثرات تنش کم‌آبی و استفاده‌ی کمتر از کودهای شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار و سلامت تغذیه انسان مؤثر باشند (Baghbani- Arani et al., 2017b). در بحث تولید گیاهان دارویی، ارزش واقعی به کیفیت محصول و پایداری تولید داده می‌شود و کمیت محصول در درجه دوم اهمیت قرار می‌گیرد. به همین دلیل، رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت کشاورزی پایدار و به‌کارگیری روش‌های مدیریتی آن است (Yousefzadeh et al., 2013). یکی از این روش‌ها به‌کارگیری کودهای آلی ازجمله ورمی‌کمپوست و آزوکمپوست به‌منظور ارتقاء عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی است. ورمی‌کمپوست که از تجزیه بیولوژیکی کمپوست و زباله‌های شهری با استفاده از کرم خاکی به وجود می‌آید با افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک در

جهت فراهم کردن عناصر غذایی موردنیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر ریزمغذی عمل نموده و با بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و جذب و نگهداری آب در خاک، باعث افزایش کارایی فتوسنتز، رشد و عملکرد کمی گیاهان (Arancon et al., 2004) و کیفی ازجمله گیاه نعناع فلفلی (Abyar et al., 2017) می‌گردد. آزوکمپوست (آزولا) نیز منبع بسیار مهمی از عناصر موردنیاز گیاهان مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سایر عناصر غذایی بوده که پس از اضافه شدن به خاک می‌تواند آن‌ها را به‌تدریج در اختیار گیاه قرار دهد و می‌تواند جایگزین بسیار خوبی برای کودهای شیمیایی باشد (Yousefzadeh et al., 2013).

محققان نشان دادند که گیاه نعناع فلفلی در آبیاری مناسب و تغذیه کافی بیشترین عملکرد بیولوژیک و اسانس را تولید خواهد کرد (Abyar et al., 2017; Rostami et al., 2018). در تحقیقی در شنبلیله گزارش گردید هرچند با کاهش آب مصرفی از عملکرد بیولوژیک و تریگونلین (ماده مؤثره اصلی) گیاه شنبلیله کاسته و بر درصد تریگونلین آن افزوده شد اما با به‌کارگیری کود ورمی‌کمپوست تا حدی از بروز اثرات سوء تنش کم‌آبی بر عملکرد بیولوژیک و تریگونلین تولیدی این گیاه کاست، به‌طوری‌که کمترین مقدار مالون دی‌آلدهید (به‌عنوان شاخص پراکسیداسیون غشا و آسیب به غشا) و بیشترین ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی، عملکرد بیولوژیک و تریگونلین را تولید نمود (Baghbani- Arani et al., 2017c).

با توجه به اهمیت دارویی و غذایی گیاه نعناع فلفلی، هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی و شناخت مجموعه خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مؤثر در بهبود سازگاری و تحمل به خشکی در نعناع فلفلی در شرایط مختلف رطوبتی در پاسخ به انواع کود شیمیایی و آلی نیتروژن دار (اوره، ورمی‌کمپوست، آزوکمپوست و تلفیقی از آن‌ها) و مطالعه تأثیر برهمکنش بین رژیم آبیاری و انواع کود نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی نعناع فلفلی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس واقع در کیلومتر ۱۶ اتوبان تهران _ کرج در مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۲۷۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۷ انجام گردید. بر اساس آمار هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (چیتگر) در دانشکده کشاورزی، این منطقه با ۲۴۲ میلی‌متر بارندگی سالانه دارای رژیم آب و هوایی نیمه‌خشک بوده و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۲۲ درجه سانتی‌گراد است.

تیمارهای آزمایشی شامل سه رژیم آبیاری (آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه و به ترتیب بعد از تخلیه ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درصد آب قابل‌استفاده در منطقه ریشه) به‌عنوان عامل اصلی و شش تیمار کودی بر اساس نیتروژن موردنیاز گیاه نعناع فلفلی (به ترتیب ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، بدون کود، ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد آزوکمپوست، ۱۰۰ درصد ورمی‌کمپوست، ۱۰۰ درصد آزوکمپوست و ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست) به‌عنوان عامل فرعی بودند.

تهیه نشاها از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور و کاشت در تاریخ اول اردیبهشت ۱۳۹۷ شروع و اولین چین در تاریخ ۲۵ خرداد صورت گرفت. هر کرت دارای شش ردیف کاشت به فاصله‌ی ردیف ۲۰ سانتی‌متر، فاصله‌ی بین هر بوته ۲۰ سانتی‌متر و به طول ۲ متر بود. علاوه بر این بین هر کرت با کرت مجاور که ازنظر سطح دریافت کودی متفاوت بودند، ۰/۵ متر به‌صورت نکاشت در نظر گرفته شد. قبل از اجرای این پژوهش از خاک مزرعه به عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌گیری و پس از هوا خشک نمودن و عبور از الک ۲ میلی‌متری برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری گردید که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره ۱:۲ آب به خاک به‌وسیله دستگاه pH متر مدل ۶۲۰ و هدایت سنج مدل ۶۴۴ اندازه‌گیری شد (Peck et al., 2008).

اعمال تنش کم‌آبیاری بعد از مرحله استقرار (کشت و مستقر شدن نشا) در کرت‌های مربوطه به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج زمانی (TDR) و محاسبه میزان پتانسیل آب خاک توسط منحنی رطوبتی خاک به‌وسیله‌ی دستگاه صفحات فشاری برای پتانسیل‌های مختلف اعمال گردید. قبل از شروع آزمایش از منحنی‌های کالیبراسیون برای تعیین رابطه بین مقدار عددی ارائه شده توسط دستگاه TDR و مقدار حجمی رطوبت خاک استفاده شد. همچنین برای تعیین و کنترل مقدار آب آبیاری از لوله‌های مجهز به کنتور استفاده گردید. (Baghbani- Arani et al., 2017c). مبنای تعیین مقدار موردنیاز کود ورمی‌کمپوست و آزوکمپوست عبارت از

درصد نیتروژن خاک و کودها (جدول ۱)، مقدار کود نیتروژن لازم برای نعناع فلفلی برابر با ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار (Omid Beigi, 2009) و مقدار آزادسازی نیتروژن کود کمپوست‌ها (۳۰٪) بود (Bahrami and Sber Hamishegi, 2015). بر این اساس به‌ترتیب مقدار موردنیاز کود ورمی‌کمپوست و آزوکمپوست (۲۲/۱۴ و ۲۰/۰۳ تن در هکتار) و کود اوره (۱۴۷ کیلوگرم در هکتار) تعیین گردید. کودهای آلی قبل از کشت در عمق سی سانتی‌متری خاک (عمق توسعه ریشه) مخلوط و کود شیمیایی (اوره) بعد از استقرار گیاه و قبل از اعمال تنش کم‌آبی به زمین داده شد. آبیاری (با آب چاه) با نوار تیپ صورت گرفت که میزان حجم مصرفی در این آزمایش به ترتیب در تیمارهای بدون تنش، کم‌آبیاری ملایم و کم‌آبیاری شدید ۲۳۰۰، ۱۸۰۰ و ۱۴۰۰ مترمکعب در هکتار است. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

زمان برداشت گیاه نعناع فلفلی برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و اندازه‌گیری اسانس در زمان ده درصد گل‌دهی در ۵۰ درصد از کرت‌ها انجام گرفت و نمونه‌های گیاهی با توجه به اثر حاشیه‌ای از وسط هر کرت و از فاصله پنج سانتی‌متری برداشت و پس از وزن شدن به اتاق خشک‌کن منتقل شدند. پس از خشک شدن نمونه‌ها به‌صورت سایه‌خشک و در دمای اتاق ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد وزن خشک هر کرت توسط ترازو دوصفر آزمایشگاهی به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک انجام گرفت. سپس از هر کرت به‌اندازه ۵۰ گرم نمونه برگ خشک با ترازو با دقت چهار صفر وزن و جدا شدند و سپس اسانس‌گیری به روش تقطیر با آب مقطر با استفاده از دستگاه کلونجر به مدت ۳ ساعت بعد از به جوش آمدن به طول انجامید (Omid Beigi, 1997).

برای سنجش محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی، مقدار ۰/۵ گرم از بافت برگ در هاون چینی و با استفاده از نیتروژن مایع خرد شد. با افزایش استون ۸۰ درصد حجم نهایی به ۲۰ میلی‌لیتر رسید. از قسمت کاملاً صاف‌شده محلول حاصل، برای کاهش ناخالصی‌های احتمالی ۱۸ میلی‌لیتر برداشت شد و در سانتریفیوژ (مدل SIGMA ساخت آمریکا) با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه عصاره‌گیری شد. عصاره جداشده رویی به فالکون منتقل و مقداری از نمونه در کووت اسپکتروفتومتر ریخته شد و میزان جذب به‌طور جداگانه در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها قرائت گردید (Arnon, 1967). همچنین میزان آنتوسیانین مطابق روش کریزک و همکاران (Krizek et al., 1993) محاسبه و برای سنجش پرولین از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) استفاده شد. درنهایت داده‌های حاصل از آزمایش با نرم‌افزار آماری SAS 9.2 تجزیه شدند. مقایسه میانگین صفات به روش آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام گرفت.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه‌ی اجرای آزمایش و ورمی‌کمپوست و آزوکمپوست مورداستفاده

Table 1. Physico-chemical properties of the soil of the experimental field and vermicompost and azocompost use in experimental site

	بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن کل Total N	کربن. نیتروژن C.N	فسفر قابل دسترس P_{Avail}	پتاس قابل دسترس K_{Avail}	آهن Fe	روی Zn
		$dS\ m^{-1}$		---------- % ----------			---------- $mg\ kg^{-1}$ ----------			
خاک Soil	لومی شنی Sandy loam	1.43	7.4	1.4	0.14	0.099	27.6	520	8.40	1.14
ورمی‌کمپوست Vermicompost	-	2.25	7.97	-	1.393	22.304	16450	14650	7445	164
آزوکمپوست Azocompost	-	3.1	5.7	21.45	1.54	13.93	5700	23700	8920	34.5
آب Water	-	0.74	8.29	-	-	-	-	-	-	-

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

در این مطالعه، ارتفاع گیاه نعناع فلفلی تحت تأثیر رژیم آبیاری و کود و اثر برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد، به‌ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع گیاه در تیمارهای بدون تنش آبی با کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست و تیمار تنش شدید کم‌آبی بدون کود مشاهده گردید. به‌ترتیب تنش کم‌آبی ملایم و شدید، سبب کاهش معنی‌دار ۱۸/۲ و ۴۲/۹۲ درصدی ارتفاع گیاه گردید. همچنین در اکثر ترکیبات تیماری رژیم آبیاری، استفاده از کود نیتروژن (خصوصاً کود آلی)، سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه گردید (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات زراعی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی برای نعناع فلفلی تحت تأثیر رژیم آبیاری و کود نیتروژن

Table 2. Analysis of variance for agronomical, morphological and physiological characteristics of peppermint effect of irrigation regime and N fertilizer treatments

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع Height	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل Total Chl	کاروتنوئید Carteniode
Block (B)	تکرار	2	22.8	1.31	0.0374	0.72	0.0482
Irrigation regime **(I)**	آبیاری	2	398.5**	8.51*	0.5748**	13.35**	1.1799**
B×I	تکرار در آبیاری	4	10.63	0.48	0.0172	0.052	0.0283
Fertilizer (F)	کود	5	25.05*	3.67**	0.3634**	6.34**	0.2230*
F×I	کود در آبیاری	10	17.62*	2.67**	0.1903**	4.23**	0.1593*
Sub error	خطای فرعی	10	7.91	0.27	0.0619	0.21	0.0640
C.V. (%)	ضریب تغییرات	-	*14.01*	*9.2*	*15.5*	*6.37*	*12.2*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	آنتوسیانین Anthocyanin	پرولین Proline	عملکرد بیولوژیک Biological yield	درصد اسانس Essential oil perecntage
Block (B)	تکرار	2	0.00044	0.17	254853.1	0.0011
Irrigation regime **(I)**	آبیاری	2	0.0011*	94.06**	5223914.9**	0.5270**
B×I	تکرار در آبیاری	4	0.00009	0.98	144795	0.0252
Fertilizer (F)	کود	5	0.00071**	33.92**	1105551.4**	0.3499**
F×I	کود در آبیاری	10	0.00024**	11.64**	749458.5**	0.1823**
Sub error	خطای فرعی	10	0.00007	0.53	48786.98	0.0098
C.V. (%)	ضریب تغییرات	-	*12.3*	*10.01*	*11.6*	*4.3*

I: رژیم آبیاری، F: کود. * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

I: Irrigation regime, F: Fertilizer. * Significant at 5% and 1% probability level, respectively

هم‌راستا با نتایج این تحقیق، باغبانی آرانی و همکاران (Baghbani-Arani et al., 2017c) در شنبلیله نشان دادند که ارتفاع گیاه تحت تأثیر رژیم آبیاری و کود نیتروژن و برهمکنش بین آن‌ها قرار گرفت و در هر دو سال مطالعه با افزایش شدت تنش خشکی، ارتفاع بوته کاهش یافت همچنین در اکثر ترکیبات تیمار آبیاری، استفاده از کود نیتروژن (اوره و ورمی‌کمپوست) باعث افزایش ارتفاع بوته شد. در تحقیقی دیگر گزارش گردید که ارتفاع نعناع فلفلی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت به‌گونه‌ای که بیشترین میزان ارتفاع گیاه در تیمار بدون تنش مشاهده گردید (Kheiry et al., 2017). علت کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی، کاهش فشار آماس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها است. با افزایش تنش آب و کاهش فشار آماس سلول‌های محافظ روزنه، هدایت روزنه‌ای

کاهش‌یافته و در اثر آن ارتفاع بوته، سرعت رشد، فتوسنتز و زیست‌توده گیاه کاهش می‌یابد (Baghalian et al., 2011). در تحقیقی کشاورز و همکاران (Keshavarz et al., 2018) گزارش کردند که استفاده از کود نیتروژن سبب افزایش ارتفاع نعناع فلفلی گردید به‌گونه‌ای‌که تیمار تلفیقی (کود شیمیایی + ورمی‌کمپوست) بالاترین ارتفاع گیاه را به خود اختصاص داد. همچنین آن‌ها بیان نمودند ورمی‌کمپوست به دلیل بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و افزایش فعالیت هدایتی ریشه، منجر به افزایش جذب گیاه گردید علاوه بر این، خواص معدنی منحصربه‌فرد ورمی‌کمپوست مانند تجمع زیاد NH4 و CEC زیاد، منجر به نگه‌داشتن آمونیوم در گیاهان تیمار شده با ورمی‌کمپوست گردید و هنگامی‌که ورمی‌کمپوست به خاک اضافه شد، یون‌های آمونیوم به‌آرامی با باکتری‌های نیتریفیکون ردوبدل می‌شوند. به‌این‌ترتیب غلظت N و جذب آن توسط گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در تحقیقی دیگر، یوسف زاده و همکاران (Yousefzadeh et al., 2013) تأثیر انواع و مقادیر مختلف کود نیتروژن (اوره و آزوکمپوست) در گیاه بادرشبی در دو منطقه تهران و خوی نشان دادند که در منطقه تهران تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره و در منطقه خوی تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود اوره و آزوکمپوست بیشترین ارتفاع گیاه حاصل شد که در هر دو منطقه، این دو تیمار اختلاف آماری معنی‌داری با هم نداشتند که هم‌راستا با نتایج این تحقیق است و چنین نتیجه گرفتند که آزوکمپوست به دلیل کاهش شستشوی نیتروژن و افزایش کربن آلی خاک، سبب افزایش مواد غذایی خاک (خصوصاً نیتروژن) می‌گردد.

محتوای رنگ‌دانه‌ها (کلروفیل a، b و کل (a+b)، کارتنوئید و آنتوسیانین)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محتوای کلروفیل a، b و کل برگ نعناع فلفلی، تحت تأثیر اثرات اصلی و برهمکنش تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۲). در این تحقیق، تنش خشکی سبب کاهش میزان کلروفیل‌ها گردید به‌گونه‌ای که به ترتیب تنش ملایم و شدید خشکی نسبت به شاهد، سبب کاهش ۱۹/۴۱ و ۲۶/۳۴ درصدی کلروفیل a، ۳۰/۴ و ۲۰/۳۸ درصدی کلروفیل b و ۱۶/۲۷ و ۲۵/۰۷ درصدی کلروفیل کل گردید (جدول ۳). همچنین کاربرد تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست، میزان کلروفیل a، b و کل بالاتری را به خود اختصاص داد که در تولید آن‌ها اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نداشت. این بدان معناست که با مصرف تلفیقی کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست می‌توان از مصرف کود شیمیایی به میزان ۵۰ درصد کاست. مقایسه میانگین اثر برهمکنش رژیم آبیاری و کود نیتروژن (جدول ۳) نیز حاکی از آن است که تنش خشکی سبب افزایش میزان کلروفیل برگ گردید به‌گونه‌ای که کمترین میزان آن در شرایط بدون تنش آبی و در تیمار ۱۰۰ درصد آزوکمپوست مشاهده گردید و همچنین در اکثر ترکیبات تیماری رژیم آبیاری و کود، کرت‌هایی که با ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست و ۵۰ درصد کود شیمیایی تیمار شده بودند، بیشترین میزان کلروفیل‌ها را در خود تجمع دادند.

تحت شرایط نامساعد محیطی سطح کلروفیل شاخص خوبی برای ارزیابی عملکرد فتوسنتزکننده محسوب می‌شود. به‌طورکلی تأثیر رژیم آبیاری بر محتوای کلروفیل برگ گیاهان بسیار متغیر بوده و گزارش‌های متناقضی در مورد اثر تنش خشکی بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی وجود دارد (Naeemi et al., 2019). دراین‌بین با توجه به شدت، مدت و مرحله رشدی، تأثیر خشکی بر هرکدام از مقادیر کلروفیل‌های b و a و نیز مقدار کاروتنوئید و آنتوسیانین در گیاهان متفاوت خواهد بود (Baghbani- Arani et al., 2017a). گروهی از محققان بیان داشته‌اند که کاهش نسبی فراهمی آب خاک منجر به افزایش تراکم کلروفیل برگ نعناع فلفلی (Nezami et al., 2016)، نعناع سبز (Rostami et al., 2018)، کلزا (Issarakraisila et al., 2007) و باقلا (Sheteawi and Tawfik, 2007) شده است. به نظر می‌رسد که افزایش مقدار کلروفیل براثر تنش خفیف کم‌آبی به دلیل اثر افزایش وزن مخصوص برگ باشد. وقوع تنش سطح برگ را کاهش می‌دهد که ناشی از کاهش اندازه سلول است؛ بنابراین، در طی بروز تنش خفیف به دلیل وجود سلول‌های بیشتر در واحد وزن برگ، میزان کلروفیل نیز افزایش می‌یابد (Munns, 1993; Rostami et al., 2018). مطالعات دیگری نشان می‌دهد که محتوی کلروفیل با افزایش تنش‌های محیطی ازجمله خشکی به علت تخریب آنزیمی کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ای خیری و همکاران (Kheiry et al., 2017) گزارش کردند که تنش کم‌آبی سبب کاهش میزان کلروفیل کل در نعناع فلفلی گردید درحالی‌که نعیمی و همکاران (Naeemi et al., 2019) گزارش کردند که رژیم آبیاری بر میزان کلروفیل a و کل بابونه آلمانی معنی‌دار نبود.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات برهمکنش رژیم آبیاری × کود نیتروژن بر صفات زراعی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نعناع فلفلی

Table 3. Mean comparison of irrigation regime × nitrogen fertilizer interaction on for agronomical, morphological and physiological characteristics of peppermint

آبیاری I	کود F	ارتفاع Height	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل Total Chl	کاروتنوئید Car
		cm	----------mg/g f.w----------			
I_1	F_1	24.66^{abc}	4.070^{fg}	1.195^{gf}	5.26^{gh}	1.715^{ef}
	F_2	21.60^{b-f}	5.923^{cd}	1.58^{b-f}	7.50^{d}	1.940^{cde}
	F_3	25.66^{ab}	4.776^{ef}	1.379^{efg}	6.15^{ef}	1.812^{def}
	F_4	27.66^{a}	5.223^{de}	1.494^{def}	6.71^{e}	1.882^{de}
	F_5	22.66^{bcd}	3.756^{g}	1.028^{g}	4.78^{h}	1.424^{f}
	F_6	28.60^{a}	6.586^{abc}	1.858^{a-d}	8.44^{bc}	2.117^{a-e}
I_2	F_1	19.66^{d-h}	6.643^{abc}	1.910^{abc}	8.55^{abc}	2.319^{abc}
	F_2	17.66^{e-i}	4.773^{ef}	1.512^{c-f}	6.28^{ef}	1.910^{cde}
	F_3	21.66^{b-f}	4.69^{ef}	1.300^{efg}	5.99^{efg}	1.905^{cde}
	F_4	18.33^{d-i}	5.03^{e}	1.410^{efg}	6.44^{e}	1.974^{b-e}
	F_5	22.00^{b-e}	5.00^{e}	1.454^{def}	6.45^{e}	1.816^{def}
	F_6	15.66^{g-j}	6.41^{abc}	2.020^{a}	$8.43b^{c}$	2.524^{a}
I_3	F_1	16.33^{g-j}	6.61^{abc}	1.842^{a-d}	8.45^{bc}	2.200^{a-d}
	F_2	12.33^{j}	4.363^{efg}	1.258^{gf}	5.62^{fg}	1.951^{cde}
	F_3	17.00^{f-j}	6.95^{ab}	1.947^{ab}	8.89^{ab}	2.388^{ab}
	F_4	20.00^{c-g}	6.816^{ab}	1.925^{abc}	8.74^{abc}	2.506^{a}
	F_5	14.66^{ij}	$6.33b^{c}$	1.699^{a-e}	8.02^{dc}	2.511^{a}
	F_6	15.00^{hij}	7.25^{a}	2.007^{a}	9.26^{a}	2.407^{a}

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

آبیاری I	کود F	آنتوسیانین Anth	پرولین Pro	عملکرد بیولوژیک Bio. yield	درصد اسانس Essen. Oil
		---------- µmol/gf.w----------		$kg.ha^{-1}$	%
I_1	F_1	0.060^{de}	5.820^{i}	3158.33^{a}	2.346^{def}
	F_2	0.060^{de}	2.413^{k}	2316.70^{cde}	2.046^{ghi}
	F_3	0.073^{bcd}	7.560^{cde}	2641.70^{bc}	2.246^{f}
	F_4	0.053^{e}	6.073^{ghi}	2841.66^{ab}	2.293^{ef}
	F_5	0.066^{cde}	6.190^{f-i}	2108.33^{de}	2.206^{fg}
	F_6	0.076^{bc}	4.550^{j}	2016.70^{de}	1.913^{ij}
I_2	F_1	0.053^{e}	5.896^{hi}	2033.33^{de}	2.193^{fgh}
	F_2	0.060^{de}	5.670^{ij}	1966.66^{e}	2.030^{hi}
	F_3	0.060^{de}	8.263^{cd}	1095.83^{g}	2.533^{bc}
	F_4	0.073^{bcd}	6.023^{ghi}	2158.33^{de}	2.346^{def}
	F_5	0.073^{bcd}	6.600^{e-i}	2341.66^{cd}	1.853^{j}
	F_6	0.083^{ab}	7.166^{d-g}	1116.60^{g}	2.666^{b}
\I_3	F_1	0.073^{bcd}	7.073^{d-h}	979.20^{g}	2.883^{a}
	F_2	0.073^{bcd}	6.633^{e-i}	1112.50^{g}	2.043^{ghi}
	F_3	0.096^{a}	15.373^{a}	1595.83^{f}	2.426^{cde}
	F_4	0.073^{bcd}	7.403^{c-f}	2375.00^{cd}	2.91^{a}
	F_5	0.063^{cde}	8.44^{6c}	1166.66^{g}	2.270^{ef}
	F_6	0.096^{a}	14.150^{b}	1060.40^{g}	2.506^{bcd}

I_1 و I_2 و I_3 = به ترتیب آبیاری پس از تخلیه ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک؛ F1، F2، F3، F4، F5، F6: به‌ترتیب ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، بدون کود، ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد آزوکمپوست، ۱۰۰ درصد ورمی‌کمپوست، ۱۰۰ درصد آزوکمپوست و ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست. حروف مشابه در هر ستون به‌منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است

I1, I2 and I3: Irrigation after depleting (25, 40 and 55%) ASW, respectively. F1, F2, F3, F4, F5, F6: 100% Chemical, No fertilizer, 50% Chemical + 50% Azocompost, 100% Vermicompost, 100% Azocompost, 50% Chemical + 50% Vermicompost, respectively. Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

نیتروژن از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی است. نیتروژن علاوه بر ایفاء نقش اصلی در تشکیل پروتئین‌ها، یک جزء لازم مولکول کلروفیل هم هست. بسیاری از مطالعات نشان داده است که کاهش دسترسی به نیتروژن عملکرد کوانتومی انتقال الکترون فتوسیستم II و حداکثر کارایی آن را کاهش می‌دهد. همچنین کمبود نیتروژن باعث تخریب فتوسیستم II می‌شود و با افزایش میزان نیتروژن در گیاه، باعث افزایش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها شده که به دنبال آن سبزینگی، توانایی جذب نور خورشید، تولید مواد فتوسنتزی و درنهایت رشد و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد (Conming and Zang, 2000). یوسف زاده (Yousefzadeh, 2012) در تحقیقی روی گیاه بادرشبی گزارش کرد در هر دو منطقه آزمایشی، کاربرد کود نیتروژن (خصوصاً تلفیق کود اوره و آزوکمپوست) در بالاترین سطح در مقایسه با سایر سطوح کودی غلظت کلروفیل، کارتنوئید و آنتوسیانین را افزایش داد. در خصوص اثر برهمکنش تنش کم‌آبی و کود نیتروژن، در مطالعه‌ای باغبانی و همکاران (Baghbani- Arani et al., 2017a) گزارش کردند که تنش شدید کم‌آبی، منجر به افزایش حدود ۵۰ درصدی محتوای کارتنوئید و آنتوسیانین در برگ شنبلیله شده است و اثر تنش کم‌آبی خفیف بر محتوای کلروفیل به‌وسیله ورمی‌کمپوست به دلیل نقش آن در کاهش نیاز آبی گیاهان (۳۰ تا ۴۰ درصد) و افزایش فراهمی مواد غذایی قابل‌دسترس خاک (مقدار نیتروژن و فسفر در ورمی‌کمپوست اغلب ۵ تا ۱۱ برابر بیشتر از خاک است) خنثی شد. تحت شرایط کم‌آبی، بازیابی مواد غذایی به‌ویژه نیتروژن از کلروپلاست‌ها که برای ساختن کلروفیل موردنیاز هستند کاهش می‌یابد و سرعت تولید کلروفیل کند و کندتر می‌شود. نتایج این پژوهش مطابق با نتایج سایر محققین بود (Hazrati et al., 2016; Baghbani- Arani et al., 2017a).

محتوای کارتنوئید و آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محتوای کارتنوئید و آنتوسیانین برگ نعناع فلفلی، تحت تأثیر اثرات اصلی رژیم آبیاری و انواع کود نیتروژن و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). تنش خشکی، سبب افزایش معنی‌دار میزان کارتنوئید و آنتوسیانین گردید و در خصوص انواع تیمار کود نیتروژن نیز نتایج حاکی از مطلوب بودن تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست در خصوص هر دو صفت داشت که ضمن تولید مقدار بیشتر آن‌ها، توانسته به میزان ۵۰ درصد از مصرف کود شیمیایی نیز بکاهد (جدول ۳). مقایسه میانگین (جدول ۳) حاکی از آن است که در اکثر ترکیبات تیماری رژیم آبیاری و کود نیتروژن، تنش خشکی سبب افزایش میزان کارتنوئید و آنتوسیانین برگ گردید به‌گونه‌ای که کمترین میزان کارتنوئید در شرایط بدون تنش آبی و در تیمار ۱۰۰ درصد آزوکمپوست مشاهده گردید و همچنین در اکثر ترکیبات تیماری رژیم آبیاری و کود نیتروژن، کرت‌هایی که با ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست و ۵۰ درصد کود شیمیایی تیمار شده بودند، بیشترین میزان کارتنوئید و آنتوسیانین را در خود تجمع دادند.

در تنش‌های شدید، میزان کاروتنوئید و آنتوسیانین که به‌عنوان حمایت‌کننده‌ای برای کلروفیل‌ها در برابر اکسیداسیون نوری به شمار می‌روند افزوده می‌شود تا مانع تخریب بیشتر کلروفیل‌ها گردد (Baghbani- Arani et al., 2017a; Hazrati et al., 2016).

پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تمامی تیمارهای آزمایشی و برهمکنش بین آن‌ها در سطح یک درصد بر میزان پرولین برگ نعناع فلفلی معنی‌دار بود (جدول ۲). به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار پرولین برگ در تیمار تنش شدید کم‌آبی با مصرف تلفیقی کود اوره و آزوکمپوست و تیمار بدون تنش آبی و کود نیتروژن به دست آمد (جدول ۳). همچنین نتایج حاکی از افزایش میزان پرولین برگ، تحت تأثیر تنش کم‌آبی داشت به‌گونه‌ای که به ترتیب تنش کم‌آبی ملایم و شدید نسبت به شاهد، سبب افزایش معنی‌دار ۴۲/۵۵ و ۳۶/۳۸ درصدی پرولین برگ گردید. همچنین در تمامی ترکیبات رژیم آبیاری و کود، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان پرولین در تیمار کود تلفیقی اوره و آزوکمپوست و تیمار بدون کود نیتروژن تجمع یافت (جدول ۳).

پرولین یکی از آمینواسیدهایی است که به‌طورمعمول در پاسخ به تنش‌ها ظاهر می‌شود. 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؛ بنابراین پرولین را می‌توان در فهرست آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی قرار داد که گیاهان برای خنثی کردن اثرات بازدارنده ROS به آن احتیاج دارند (Lotfi et al., 2014; Baghbani Arani et al., 2017c). عمده نتایج

تحقیقات حکایت از افزایش پرولین در اثر تنش خشکی در گیاهان مختلف است (Lotfi et al., 2014; Rostami et al., 2018). در تحقیقی گزارش کردند که اثر رژیم آبیاری و میزان کود ورمی‌کمپوست و اثر برهمکنش بین آن‌ها بر میزان پرولین در سطح یک درصد در نعناع فلفلی معنی‌دار گردید به‌گونه‌ای‌که کاربرد ورمی‌کمپوست، سبب افزایش ۱۶ و ۲۹ درصدی میزان پرولین گردید و به‌ترتیب تنش کم‌آبی ملایم و شدید، سبب افزایش ۲۲ و ۴۴ درصدی آن گردید و بیشترین میزان پرولین در بالاترین سطح تنش آبی و کاربرد کود ورمی‌کمپوست حاصل گردید (Gorgini Shabankareh and Khorasaninejad, 2017). در تحقیقی دیگر گزارش گردید که به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار پرولین و گلایسین بتائین برگ (تنظیم‌کننده‌های اسمزی) در شنبلیله، در تیمار تنش شدید کم‌آبی و بدون تنش آبی به دست آمد (Baghbani Arani et al., 2017c).

هنگامی‌که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و درنتیجه افزایش آمینواسیدها و آمیدها تسریع می‌شود که یکی از این آمینواسیدها پرولین است تا جذب آب تحت شرایط تنش ادامه یابد (Gorgini Shabankareh and Khorasaninejad, 2017)؛ اما اتّکای گیاهان به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و گیاه این هزینه را از طریق کاهش عملکرد جبران می‌کند (Good and Zaplachiniski, 1994). به نظر می‌رسد علت افزایش میزان پرولین در اثر کاربرد کود نیتروژن نیز به دلیل کاربرد ساختمانی نیتروژن در تشکیل پرولین است (Marschner, 1995). به همین دلیل تیمار بدون تنش آبی و بدون کود نیتروژن، کمترین میزان پرولین را به خود اختصاص داد.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار تیمارهای آزمایشی و اثر برهمکنش آن‌ها بر عملکرد بیولوژیک نعناع فلفلی داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک نعناع فلفلی در تیمار بدون تنش آبی با کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن (با ۳۱۵۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد منبع نیتروژنی ورمی‌کمپوست (با ۲۸۴۱/۶۶ کیلوگرم در هکتار) نداشت. همچنین کمترین میزان آن مربوط به تیمار تنش شدید کم‌آبی با ۱۰۰ درصد اوره (با ۹۷۹/۲۰ کیلوگرم در هکتار) بود که با تیمارهای (I2F3 و I2F6 ،I3F6،I3F5 ،I3F2) تفاوت معنی‌داری نداشت. به‌ترتیب تنش کم‌آبی ملایم و شدید، سبب کاهش ۱۵/۱۱ و ۵۱/۹۸ درصدی عملکرد بیولوژیک گیاه گردید (جدول ۳).

در مطابقت با نتایج این تحقیق، آبیار و همکاران (Abyar et al., 2017) گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش رشد رویشی (ارتفاع، فاصله میانگره و وزن تر و خشک) گیاه نعناع فلفلی گردید. آن‌ها با توجه به معنی‌دار شدن اثر برهمکنش خشکی و کود ورمی‌کمپوست بر وزن تر و خشک گیاه، نشان دادند که به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار آن‌ها در تیمارهای بدون تنش آبی با بالاترین میزان ورمی‌کمپوست و تیمار تنش شدید کم‌آبی و عدم مصرف ورمی‌کمپوست حاصل گردید و بیان داشتند که ارتفاع بوته، وزن تر و خشک سرشاخه‌های گل‌دار نعناع فلفلی مانند هر اندام رویشی یا زایشی دیگر شدیداً تحت تأثیر عناصر غذایی و آب قرار می‌گیرد. خواص فیزیکی و شیمیایی هیومیک اسید موجود در ورمی‌کمپوست، از طریق افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و افزایش هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد و همچنین افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش عناصر غذایی ازجمله نیتروژن گیاه گردیده و سبب افزایش کارایی فتوسنتز و تولید ماده خشک گیاهان می‌گردد (Arancon et al., 2004; Baghbani- Arani et al., 2017a; Abyar et al., 2017). در تحقیقی دیگر در گیاه نعناع فلفلی گزارش گردید که تنش خشکی سبب کاهش وزن تر و خشک ساقه گردید و کاربرد بالاترین مقدار ورمی‌کمپوست با بالاترین مقدار صفات مذکور همراه گردید که یکی از علل اصلی کاهش در وزن تر و خشک اندام هوایی بوته در طول تنش، تولید گونه‌های فعال اکسیژن یا ROS دانست که سبب اختلال در سیستم انتقال الکترون شده و درنتیجه کاهش کارایی فتوسنتز می‌گردد (Gorgini Shabankareh and Khorasaninejad, 2017). در تحقیقی باغبانی و همکاران (Baghbani- Arani et al., 2017a) گزارش کردند که در هر دو سال آزمایش، اثر برهمکنش رژیم آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک شنبلیله معنی‌دار گردید به‌گونه‌ای‌که بیشترین مقدار برهمکنش آن‌ها برای عملکرد بیولوژیک در هر دو سال، در تیمار بدون تنش کم‌آبی به همراه ورمی‌کمپوست و کمترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی بدون کود نیتروژن به دست آمد. همچنین آن‌ها بیان داشتند

هنگامی‌که گیاهان با محدودیت آب مواجه می‌شوند آن‌ها برای به حداقل رساندن از دست دادن آب روزنه‌های خود را می‌بندند که منجر به کاهش CO2 قابل‌دسترس برای فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود.

درصد اسانس

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از جدول تجزیه واریانس، مشخص گردید که اثر تمامی تیمارهای آزمایشی و برهمکنش بین آن‌ها در سطح یک درصد بر میزان اسانس نعناع فلفلی معنی‌دار گردید (جدول ۲). جدول مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین درصد اسانس گیاه در تیمار تنش شدید کم‌آبی با ۱۰۰ درصد ورمی‌کمپوست با (۲/۹۱ درصد) حاصل گردید که با تیمار تنش شدید کم‌آبی و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (با ۲/۸۸۳ درصد) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت به‌گونه‌ای که به ترتیب نسبت به شاهد (بدون تنش) سبب افزایش ۲۱/۲ و ۱۸/۶۳ درصدی اسانس نعناع فلفلی گردید (جدول ۳). همچنین در اکثر ترکیبات تیماری رژیم آبیاری و کود، کاربرد کود نیتروژن سبب افزایش درصد اسانس گردید به‌گونه‌ای که در هر سه رژیم آبیاری، تیمارهای بدون کود نیتروژن اختلاف معنی‌داری ازنظر درصد اسانس نداشتند (جدول ۳).

عواملی مانند تنش‌های زنده از قبیل آفات و بیماری‌ها و تنش‌های غیرزنده از قبیل کمبود آب و مواد غذایی بر عملکرد اسانس و اجزاء آن در گیاهان دارویی مؤثر است (Leicacha et al., 2010).

در مطابقت با نتایج این تحقیق، گرگینی شبانکاره و خراسانی نژاد (Gorgini Shabankareh and Khorasaninejad, 2017) گزارش کردند که اثر کم‌آبی و کاربرد ورمی‌کمپوست و برهمکنش بین آن‌ها در سطح یک درصد بر میزان اسانس گیاه نعناع فلفلی معنی‌دار گردید به‌گونه‌ای‌که بیشترین درصد اسانس در تیمار تنش شدید کم‌آبی با بالاترین میزان ورمی‌کمپوست حاصل گردید. آن‌ها بیان نمودند در شرایط وقوع تنش خشکی و کم‌آبی، میزان تولید مواد مؤثره به دلیل جلوگیری از اکسیداسیون درون‌سلولی افزایش می‌یابد و از طرف دیگر با کاهش سطح اندام رویشی در اثر تنش خشکی، تعداد غده‌های مترشحه اسانس افزایش می‌یابد، درنتیجه میزان اسانس افزایش خواهد یافت. همچنین آبیار و همکاران (Abyar et al., 2017) نشان دادند کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط وجود تنش کم‌آبی، منجر به دستیابی به بالاترین میزان درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی گردید، به‌طوری‌که کاربرد ۴۰ درصد حجمی گلدان ورمی‌کمپوست (بالاترین سطح آن) و تنش تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، بالاترین میزان درصد اسانس را تولید کرد.

محققین علت تجمیع اسانس درنتیجه اعمال تنش خشکی را این‌گونه بیان کردند که با بسته بودن روزنه‌ها، جذب CO_2 به‌شدت کاهش می‌یابد. درنتیجه مصرف NADPH برای تثبیت کربن از طریق چرخه کالوین، کم شده و میزان NADPH بسیار زیاد و بیشتر از نیاز شده و درنتیجه، فرایندهای متابولیت ثانویه به سمت تولید بیشتر موادی مثل اسانس‌ها، فنول‌ها و آلکالوئیدها، هدایت می‌شوند (Selmar and Kleinwachter, 2013).

کاربرد نیتروژن در گیاهان دارویی و معطر با افزایش فتوسنتز، میزان کلروفیل، فعالیت آنزیم رابیسکو، بیوماس و رشد و توسعه برگ، عملکرد اسانس را افزایش می‌دهد (Sifola and Barbieri, 2006).

افزایش میزان اسانس در اثر مصرف کود نیتروژن به دلیل نقش مهم نیتروژن در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید حاوی اسانس، کانال‌های اسانس، مجاری ترشحی و کرک‌های غده‌ای است (Salehi, 2011). نیتروژن سنتز ترکیبات ترپنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و کربن موردنیاز برای سنتز ترکیبات ترپنی از فتوسنتز تأمین می‌شود. علاوه بر این فسفر یک جزء کلیدی ATP و NADPH است که انرژی موردنیاز برای سنتز ترکیبات ترپنی را تأمین می‌کند. اسانس‌ها ترکیبات ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آن‌ها نیاز ضروری به عناصری نظیر نیتروژن و فسفر دارد. ازاین‌رو کود ورمی‌کمپوست با تأثیر بر جذب نیتروژن و فسفر باعث افزایش درصد و عملکرد اسانس می‌گردد (Arancon et al., 2004). کاربرد کودهای بیولوژیک نظیر ورمی‌کمپوست در نظام کشاورزی پایدار، موجب بهبود کمیت و کیفیت ماده مؤثره در گیاهان دارویی می‌گردد (Kapoor et al., 2004).

نتیجه‌گیری نهایی

آب و مواد غذایی (ازجمله نیتروژن) دو عامل کلیدی در کمیت و کیفیت گیاه دارویی نعناع فلفلی می‌باشند. به‌طورکلی در گیاه نعناع فلفلی، با افزایش تخلیه رطوبت خاک، ارتفاع و عملکرد بیولوژیک گیاه کاهش یافت در حالی که میزان رنگ‌دانه‌ها، کارتنوئید، آنتوسیانین، پرولین و درصد اسانس افزایش یافت. کاربرد کود نیتروژن، سبب افزایش تمامی صفات اندازه‌گیری شده گردید. در اکثر صفات اندازه‌گیری

شده در این آزمایش، تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی و ۵۰ درصد کود ورمی‌کمپوست حتی در شرایط تنش شدید کم‌آبی مطلوب‌تر از بقیه تیمارها ارزیابی گردیدند. همچنین نتایج نشان داد که اگر هدف از کاشت گیاه دارویی نعناع فلفلی، عملکرد کیفی (درصد اسانس) گیاه باشد با اعمال تنش شدید کم‌آبی و تولید بالاترین درصد اسانس، بیش از ۵۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کرد و همچنین در راستای تولید دارویی سالم و همگام با کشاورزی پایدار می‌توان، کود ورمی‌کمپوست را جایگزین کود شیمیایی نیتروژن کرد.

منابع

Abyar, S., Fakheri, B., Mahdinajad, N., Harati Rad. M., 2017. Effects of different levels of vermicompost on growth indices and essential oils essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.) under different irrigation regimes. Journal of Agronomy and Plant Breeding. 13, 29-42. [In Persian with English Summary].

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J.D, Lucht, C., 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. Pedobiologia. 49, 297–306.

Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23, 112-121.

Baghalian, K., Abdoshah, Sh., Khalighi Sigaroodi, F., Paknejad, F., 2011. Physiological and phytochemical response to drought stress of german chamomile (*Matricaria recutita* L.). Plant Physiology and Biochemistry. 49, 201-207.

Baghbani Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojar, M., Mokhtassi, A. Bidgoli., 2017a. Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. Industrial Crop and Products, 109, 346–357.

Baghbani Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojar, M., Mokhtassi, A. Bidgoli., 2017b. Effect of application of zeolite and nitrogen fertilization on growth, seed yield and water productivity of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Sciences. 19, 239-254. [In Persian with English Summary].

Baghbani Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojar, M., Mokhtassi, A. Bidgoli., 2017c. Effect of deficit water stress in response to zeolite and nitrogen fertilizer on some physiological traits in fenugreek. Journal of Plant Production Research, 24, 71-88.

Bahrami, H.A., Saber Hamishegi, S.M., 2015. Vegetarian Nutrition Guide (The first volume, translated). Organization of Academic Jahad Publications. 579p. [In Persian].

Bates, L.S. Waldern, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39, 205–207.

Conming, L., Zang, J., 2000. Photosynthetic CO2 assimilation chlorophyll fluorescence and photoihibiton as affected by nitrogen deficiency in maize plants. Plant Science. 151, 135-143.

Daneshmand, F., Arvin, M.J., Kalantari, K.M., 2009. Effect of acetylsalicylic acid (Aspirin) on salt and osmotic stress tolerance in Solanum bulbocastanum in vitro: enzymatic antioxidants. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 6, 92-99.

Good, A.G., Zaplachiniski, S.T., 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in Brassica napus. Physiologia Plantarum. 90, 9-14.

Gorgini Shabankareh, H., Khorasaninejad, S., 2017. The effect of application of different levels of vermicompost on some morphophysiological characteristics and essential oil of peppermint medicinal plant under deficit water. Electronical Journal of Crop Pruduction. 10, 59-74. [In Persian with English Summary].

Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Nicola, S., 2016. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. Plant Physiology and Biochemistry. 106, 141-148.

Issarakraisila, M., Ma, Q., Turner, D.W., 2007. Photosynthetic and growth responses of juvenile Chinese kale (*Brassica oleracea* var. albo glabra) and caisin (*Brassica rapa* subsp. parachinensis) to water logging and water deficit. Scientia Horticulturae. 111, 107–113.

Kapoor, R., Giri, B., Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in (*foeniculum vulgare* mill) on mycorrhiza inoculation supplemented with p-fertilizer. Bioresource Technology. 93, 307-311.

Keshavarz, H., Modarres Sanavy, S.A.M., Mehdipour Afra, M., 2018. Organic and chemical fertilizer affected yield and essential oil of two Mint species. Journal of Essential Oil Bearing Plants. 21, 1674-1681.

Kheiry, A., Tori, H., Mortazavi, N., 2017. Effects of drought stress and jasmonic acid elicitors on morphological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 33, 268-280. [In Persian with English Summary].

Krizek, D.T., Kramer, G.F., Upadhyaya, A., Mirecki, R.M., 1993. UV-B Response of Cucumber seedling grown under metal halid and high pressure sodium deluxe lamps. Physiologia Plantarum. 88, 350-358.

Leicacha, S.R., Garaub, A.M., Guarnaschellib, A.B., Yaber Grassa, M.A., Sztarkera, N.D., Analia Dato, A., 2010. Changes in Eucalyptus camaldulensis essential oil composition as response to drought preconditioning. Journal of Plant Interactions, 5, 205-210.

Lotfi, M., Abbaszadeh, B., 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, 19-29. [In Persian with English Summary].

Marschner, H., 1995. Minirial nutration of higher plants, 2nd Edition. Londeon. Academic press.

Munns, R., 1993. Physiological process limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypotheses. Plant Cell and Environment. 16, 15-24.

Naeemi, M., Dehghani, M.S., Gholam Ali Poor Alamdari, E., Jabbari, H., 2019. The effect of different irrigation regimes and chitosan spraying on quality and physiological traits of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Enviromental Stresses in Crop Sciences. 12, 471-480. [In Persian with English Summary].

Nezami, S., Nemati, S.H., Aroiee, H., Bagheri, A., 2012. Response of Mentha species to water deficit stress under controlled conditions. Journal of Water and Soil. 26, 1051-1063. [In Persian with English Summary].

Omid Beigi, R., 1997. Findings about Production and Process of Medicinal Plants. Tarahane Nashr Publication. 424p. [In Persian with English Summary].

Omidbaigi, R., 2009. Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. 2). Astan Quds Razavi. 438p. [In Persian with English Summary].

Peck, A.W., McDonald, G.K., Graham, R.D., 2008. Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal Cereal Science. 47: 266-274.

Rostami, GH., Moghadam, M., Saeedi Poya, E., Ajdanian, L., 2018. Effect of humic acid foliar application on some morpho-physiological and biochemical characteristics of green mint (*Mentha spicata* L.) under drought stress. Enviromental Stresses in Crop Sciences. 12, 95-110. [In Persian with English Summary].

Salehi, A., 2011. Effect of vermicompost and zeolite on the quantitative and qualitative performance of Matricaria Chamomilla.L in achieving a sustainable agricultural system. Trabiat Modares University. Ph.D. Thesis Tarbiat Modares University Faculty of Agriculture. Iran. [In Persian with English Summary].

Selmar, D., Kleinwachter, M., 2013. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. Industrial Crops and Products, 42, 558- 566.

Sheteawi, S.A., Tawfik, K.M., 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mung bean (*Vigna radiata*) growth and yield. Journal of Applied Sciences Research. 3, 251-262.

Sifola, M.I., Barbieri, G., 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. Scientia Horticulturae 108, 408–413.

Yousefzadeh, S. 2012. Effect of biofertilizer and Azocompost on the yield performance and quality characteristics of Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in two regions of Iran. Ph.D. Thesis Tarbiat Modares University Faculty of Agriculture. Iran. [In Persian with English Summary].

Yousefzadeh, S., Modarres-Sanavy, S.A.M., Sefidkon, F., Asgarzadeh, A., Ghalavand, A., Roshdi, M., Safaralizadeh, A., 2013. Effect of biofertilizer, azocompost and nitrogen on morphologic traits and essential oil content of Dracocephalum moldavica L. in two regions of Iran. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 29, 438-459. [In Persian with English Summary].