فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۲، شماره ۵۷، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۲ صفحه: ۳۳۷-۳۵۶
https://doi.org/10.22034/12.57.337

مقاله پژوهشی

تأثیر کاربرد کود نیتروژن آلی و شیمیایی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، محتوای کلروفیل و فلاونوئید، سرعت فتوسنتز، شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک نعناع فلفلی تحت تنش کم‌آبی

حسین ابراهیمی اسبورزی[۱]، سیدعلی‌محمد مدرس ثانوی[۱*] و ابوالفضل باغبانی آرانی [۲]

[۱] گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۲] گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۰۵)

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات تنش کم‌آبی و انواع کود نیتروژن بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل، سرعت فتوسنتز، محتوای کلروفیل و فلاونوئید کل، شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک نعناع فلفلی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه رژیم آبیاری (آبیاری براساس ظرفیت مزرعه و به‌ترتیب بعد از تخلیه ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درصد آب قابل استفاده در منطقه ریشه) به‌عنوان عامل اصلی و شش تیمار کودی براساس نیتروژن مورد نیاز گیاه (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) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان دادند که تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر، کارایی کوانتومی فتوسیستم II، سرعت فتوسنتز، شاخص سطح برگ و عملکرد کل ماده خشک را کاهش داد ولی فلورسانس حداقل و غلظت فلاونوئید کل را افزایش داد. نتایج حاکی از آن است که تنش کم‌آبی، باعث بازدارندگی نوری فتوسیستم II گردیده و با کاهش سطح برگ، سبب کاهش عملکرد ماده خشک نعناع فلفلی گردید به‌گونه‌ای‌که تنش کم‌آبی شدید، سبب کاهش ۴۳ درصدی سطح برگ نسبت به شرایط بدون تنش گردید. همچنین، در اکثر صفات مورد بررسی، تیمارهایی که با کود نیتروژن (خصوصاً ورمی‌کمپوست) تیمار شده بودند سبب بهبود شاخص‌های فتوسنتزی و در نهایت عملکرد ماده خشک گیاه گردیده و همچنین توانسته است اثرات منفی تنش کم‌آبی شدید بر آنها را تعدیل کنند. علاوه بر این، در راستای کشاورزی پایدار و با توجه به دارویی بودن گیاه نعناع فلفلی، می‌توان با تلفیق کود شیمیایی اوره و ورمی‌کمپوست، به میزان ۵۰ درصد از مصرف کود شیمیایی کاست.

کلمات کلیدی: آزوکمپوست، اوره، پارامترهای فتوسنتزی، تنش خشکی، ورمی‌کمپوست

مقدمه

نعناع فلفلی با نام علمی (*Mentha × piperita* L.) یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی است که مقدار مصرف سالانه

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: modaresa@modares.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

اسانس آن در جهان به حدود ۷۰۰۰ تن می‌رسد. طعم تند برگ‌های آن، سبب معروفیت این گیاه به نام نعناع فلفلی شده است. بیشتر ترکیبات اسانس نعناع فلفلی از ترکیبات فنلی تشکیل شده است که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی است و در نتیجه قابلیت استفاده به‌عنوان نگهدارنده در مواد غذایی را دارند. همچنین اسانس این گیاه کاربردهای متنوعی در پزشکی و صنایع داروسازی دارد (Keshavarz *et al*., 2018; Mumivand *et al*., 2023). نعناع فلفلی دارای اسانس نسبتاً بالایی که مخلوطی از ترکیبات فرار با دو ماده اصلی منتول (۳۵–۶۰ درصد) و منتون (۱۵–۳۰ درصد) و درصد کمی از پولگون، منتیل استات، ۱ و ۸ سینئول، لیمونن و منتوفوران است (Mumivand *et al*., 2023).

رشد گیاه و تولید اسانس تحت تأثیر عوامل متعددی درونی (مثل تنوع ژنتیکی و مرحله نمو) و عوامل بیرونی (مثل خواص خاک، دما، طول روز، رطوبت، مواد مغذی، نور و موقعیت جغرافیایی قرار می‌گیرد که در این میان، تغذیه نقش غالب و قابل تشخیصی در رشد، نمو و مسیرهای بیوشیمیایی گیاهان دارد (Mumivand *et al*., 2023). همچنین به‌دلیل کشت در شرایط آب و هوایی متنوع و گستردگی کشت آن، ممکن است با تنش‌های غیرزنده مواجه گردد. بهبود تولید محصولات زراعی تحت شرایط تنش، به مدیریت خوب نهاده‌ها در زمان، مقدار، شکل و شناسایی مراحل مهم فیزیولوژیکی و مکانیسم‌های دفاعی گیاهان برای اجتناب از تنش نیاز دارد. بنابراین درک فرایندهای فیزیولوژی، مکانیسم‌های مقاومت و سازگاری به شرایط مختلف محیطی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (Baghbani- Arani *et al*., 2017). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود آب مانع اصلی تولید محصولات زراعی است. گیاهان در معرض تنش‌های محیطی گوناگون از جمله تنش کم‌آبی قرار دارند که منجر به اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر عملکرد دستگاه فتوسنتزکننده می‌شود (Hazrati *et al*., 2016). یکی از عوامل تنش کم‌آبی بر فتوسنتز، کاهش میزان کارایی فتوسنتز از طریق افزایش فلورسانس کلروفیل و کاهش سرعت فتوسنتز است. به منظور تعیین وضعیت فیزیولوژی گیاه و میزان آسیب وارده به دستگاه فتوسنتزی از سنجش فلورسانس کلروفیل استفاده می‌شود. کارکرد دستگاه فتوسنتزی را می‌توان از طریق اندازه‌گیری (Fv/F_m) مورد بررسی قرار داد که نشان‌دهنده عملکرد کوآنتومی مراکز واکنش فتوسیستم II است (Paknejad *et al*., 2007; Ranjbar-Fordoei *et al*., 2013; Hazrati *et al*., 2016).

مطالعات نشان می‌دهد که محتوی کلروفیل با افزایش تنش کم‌آبی به‌علت تخریب آنزیمی (آنزیم کلروفیلاز) کاهش یافته و در مقابل بر میزان فلاونوئیدها که خاصیت آنتی‌اکسیدانتی دارند افزوده می‌شود (Hazrati *et al*., 2016). در تحقیقی روی نعناع فلفلی گزارش گردید که تنش خشکی موجب کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، افزایش برخی شاخص‌ها مانند فلورسانس و رنگدانه‌های کمکی و کاهش وزن خشک گیاه گردید (نوبخت و همکاران، ۱۳۹۷).

تنش آبیاری یا خشک‌سالی بیش از اندازه بر فیزیولوژی گیاه، جذب مواد غذایی و تغییرات بیوشیمیایی در مراحل مختلف رشد گیاهان اثر دارد (Baghbani- Arani *et al*., 2017). همچنین کمبود نیتروژن از مهمترین عوامل محدود کننده تولید محصولات زراعی است. نیتروژن علاوه بر ایفای نقش اصلی در تشکیل پروتئین‌ها، یک جز لازم مولکول کلروفیل هم هست. نتایج محققان نشان می‌دهد که کاهش دسترسی به نیتروژن، عملکرد کوانتومی انتقال الکترون فتوسیستم II و حداکثر کارایی آن را کاهش می‌دهد و همچنین باعث تخریب فتوسیستم II نیز می‌گردد. با افزایش میزان نیتروژن در گیاه، باعث افزایش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها (به‌دلیل افزایش سطح برگ گیاه) شده که به‌دنبال آن سبزینگی، توانایی جذب نور خورشید و در نهایت رشد و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد (Conming and Zang, 2000). اثر مثبت کودهای شیمیایی نیتروژنی بر عملکرد نعناع فلفلی توسط محققین گزارش شده است (آبیار و همکاران، ۱۳۹۶؛ Keshavarz *et al*., 2018).

علاوه بر این استفاده از تکنیک‌های زراعی از جمله کاربرد کودهای آلی یا تقویت شرایط بیولوژیک خاک ممکن است در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

کاهش اثرات تنش کم‌آبی مؤثر باشند. در مناطق خشک و نیمه خشک (از جمله ایران) به دلیل شرایط اقلیمی موجود، ماده آلی خاک بطور مداوم کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که بیش از ۶۰ درصد خاک‌های ایران، کمتر از یک درصد ماده آلی دارند (Baghbani- Arani *et al*., 2017). یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار خصوصاً در تولید گیاهان دارویی، استفاده از کودهای آلی از جمله کمپوست‌ها است. کاربرد کمپوست در اراضی زراعی نقش مهمی در افزایش عناصر معدنی، آلی و بهبود ساختمان خاک دارد. کمپوست نوعی کود زیستی است که علاوه بر افزودن نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سایر ریزمغذی‌ها به خاک، باعث بهبود ساختار خاک، تسهیل عملیات کاشت، رشد و توسعه ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود. از سایر ویژگی‌های کمپوست می‌توان به جذب و نگهداری آب، جلوگیری از فرسایش و آلودگی آب‌های زیرزمینی اشاره کرد (Lundkvist *et al*., 2008). ورمی‌کمپوست یک کود زیستی بوده که از طریق فرآوری ضایعات آلی نظیر کود دامی، بقایای گیاهی و غیره به‌وسیله کرم‌های خاکی تولید می‌شود. این ماده دارای تخلخل زیاد، قدرت جذب و نگهداری بالای عناصر معدنی، تهویه و زهکش مناسب، ظرفیت زیاد نگهداری آب و بدون بوی نامطبوع و عوامل بیماریزا بوده و امروزه استفاده از آن در کشاورزی پایدار، جهت بهبود رشد و کیفیت محصولات زراعی و باغی متداول است (Arancon *et al*., 2005). همچنین 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 (یوسف‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴).

محققان مختلفی نشان دادند که گیاه نعناع فلفلی در آبیاری مناسب و تغذیه کافی بیشترین عملکرد ماده خشک را تولید خواهد کرد (آبیار و همکاران، ۱۳۹۶؛ Keshavarz *et al*., 2018). با توجه به اهمیت دارویی و غذایی گیاه نعناع فلفلی، هدف از اجرای این پژوهش درک و ارزیابی مجموعه فرایندهای فیزیولوژیکی (دستگاه فتوسنتزی گیاه) و بیوشیمیایی (فلاونوئید) مؤثر در بهبود سازگاری و تحمل به خشکی در نعناع فلفلی در شرایط مختلف رژیم کم‌آبیاری در پاسخ به انواع کود شیمیایی و آلی نیتروژن‌دار (اوره، ورمی‌کمپوست، آزوکمپوست و تلفیقی از آنها) و مطالعه تأثیر برهمکنش بین رژیم کم‌آبیاری و انواع کود نیتروژن بر عملکرد کمی نعناع فلفلی است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۷ در 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 ۱۲۱۵ متر از سطح دریا اجرا گردید. براساس آمار هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (چیتگر) به دانشکده کشاورزی، این منطقه با ۲۴۲ میلی‌متر بارندگی سالانه دارای رژیم آب و هوایی نیمه‌خشک بوده و میانگین درجه حرارت سالیانه آن ۲۲ درجه سانتی‌گراد است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. شامل سه رژیم آبیاری (آبیاری براساس ظرفیت مزرعه و به‌ترتیب بعد از تخلیه ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درصد آب قابل استفاده در منطقه ریشه) به‌عنوان عامل اصلی و شش تیمار کودی براساس نیتروژن مورد نیاز گیاه (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) به‌عنوان عامل فرعی بودند. جهت اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی، قبل از اجرای آزمایش با نمونه‌گیری از خاک در زمان‌های متفاوت، از طریق روش وزنی درصد حجمی رطوبت خاک تعیین گردید و درصد حجمی رطوبت خاک به‌وسیله دستگاه TDR (Time Domain Reflectometry) (با مارک TRIME-FM مدل ۱۰۷۷۶ ساخت کشور آلمان) اندازه‌گیری شد و سپس یک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه اجرای آزمایش و ویژگی‌های شیمیایی ورمی‌کمپوست و آزوکمپوست مورد استفاده

	بافت	EC (dS/m)	pH	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	کربن : نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی
							(mg/kg)			
خاک	لوم شنی	۱/۴۳	۷/۴	۱/۴	۰/۱۴	۰/۰۹۹	۲۷/۶	۵۲۰	۸/۴۰	۱/۱۴
ورمی‌کمپوست	–	۲/۲۵	۷/۹۷	–	۱/۳۹۳	۲۲/۳۰۴	۱۶۴۵۰	۱۴۶۵۰	۷۴۴۵	۱۶۴
آزوکمپوست	–	۳/۱	۵/۷	۲۱/۴۵	۱/۵۴	۱۳/۹۳	۵۷۰۰	۲۳۷۰۰	۸۹۲۰	۳۴/۵

معادله رگرسیونی بین دو سری از داده‌ها محاسبه شده که برای کالیبره کردن دستگاه TDR مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های دستگاه TDR به‌طور روزانه در طول دوره رشد گیاه ثبت شد. این روش با استفاده از روش وزنی چک و به رطوبت حجمی تبدیل گردید. مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار براساس فرمول‌های روش Mokhtassi-Bidgoli و همکاران (۲۰۱۳) محاسبه و در اختیار گیاه قرار گرفت. مبنای تعیین مقدار موردنیاز کود ورمی‌کمپوست و آزوکمپوست عبارت از درصد نیتروژن خاک و کود (جدول ۱)، مقدار کود نیتروژن لازم برای نعناع فلفلی برابر با ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار و مقدار آزادسازی نیتروژن کود ورمی‌کمپوست (۳۰ درصد) بود (بهرامی و صابر همیشگی، ۱۳۹۴). بر این اساس مقدار مورد نیاز کود ورمی‌کمپوست و آزوکمپوست (۲۲/۱۴ و ۲۰/۰۳ تن در هکتار) و کود اوره (۱۴۷ کیلوگرم در هکتار) تعیین گردید. براساس تیمارها، آزوکمپوست و ورمی‌کمپوست قبل از کاشت با خاک هر کرت به طور کامل مخلوط شدند. تهیه نشاها از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور و کاشت در تاریخ اول اردیبهشت در زمین اصلی با شش ردیف کاشت (فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر و به طول دو متر انجام گردید. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

پارامترهای فلورسانس کلروفیل در برگ‌های سازگارشده به تاریکی با استفاده از دستگاه فلورومتر مدل (Walz, Germany PAM 2000) اندازه‌گیری شدند که عبارتند از F_0: حداقل فلورسانس زمانی که تمامی مراکز واکنش فتوسیستم II باز است؛ F_m: حداکثر فلورسانس زمانی که تمامی مراکز واکنش فتوسیستم II بسته هستند؛ و F_v/F_m: حداکثر عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی فتوسیستم II بودند (Paknejad *et al*., 2007; Ranjbar- Fordoei *et al*., 2013; Hazrati *et al*., 2016). سرعت فتوسنتز گیاه با استفاده از دستگاه (Li-6400, Li-CorInc, Lincoln, NE. USA) بدین ترتیب که در زمان بعد از اعمال تنش‌ها و ده درصد گل‌دهی در ساعات ۱۴-۱۲ اندازه‌گیری شد. قسمت مرکزی هر کرت یک بوته به تصادف انتخاب و سرعت فتوسنتز در جوان‌ترین برگ بالغ اندازه‌گیری گردید (Hazrati *et al*., 2016). برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل کل (a+b) از روش آرنون Arnon (۱۹۴۹) و فلاونوئید کل (Krizek *et al*., 1993) استفاده شد.

برای محاسبه شاخص سطح برگ، به فاصله هر ۱۴ روز یکبار از بوته‌ها نمونه‌برداری شد و سطح برگ‌ها توسط دستگاه سطح‌سنج (Leaf Area Meter) اندازه‌گیری شد. همچنین رگرسیون خطی Ln LAI در t توسط روش "حداقل مربعات" با استفاده از نرم‌افزار (SAS 2002) برآورد شد درجه چند جمله‌ای براساس بالاترین ضریب (R_2) تعیین شد ($Ln\ LAI= a_1+ b_1t+ c_1t^2$). همچنین جهت محاسبه عملکرد ماده خشک، ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت از دو ردیف میانی با رعایت حذف اثر حاشیه برداشت شد.

تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام پذیرفت. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی به روش آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج

صفات فلورسانس: F_0 حداقل فلورسانس زمانی که تمامی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده در نعناع فلفلی تحت رژیم‌های آبیاری و کودی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		F_0	F_m	F_v	F_v/F_m	سرعت فتوسنتز
بلوک (R)	۲	۱۶۹۸۶۹/۵	۱۰۰۷۹۴/۵	۵۱۵۷/۶	۰/۰۳۷	۰/۰۲۶
آبیاری (I)	۲	۴۹۳۱۸	۲۵۲۷۳۵/۲*	۱۰۵۰۹۰/۹*	۰/۰۲۲	۳۳/۴**
R×I	۴	۲۲۱۲۳/۴	۱۴۹۴۶/۳	۹۷۲۴/۴	۰/۰۱۵	۰/۰۴۸
کودی (F)	۵	۴۸۹۳۵/۴**	۳۲۳۳۵/۳	۲۶۷۲۷/۹*	۰/۰۴۱**	۲/۶**
F×I	۱۰	۲۷۹۴۲/۶*	۶۵۳۶۰/۶**	۵۶۷۷۷/۱**	۰/۰۴۲**	۰/۳**
خطا	۱۰	۱۲۳۲۱/۶	۱۴۳۰۴/۶	۹۳۵۱/۸	۰/۰۰۸۱	۰/۰۳۹
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۳/۱	۱۹/۶۵	۱۵/۵۷	۱۰/۵	۱۰

بدون علامت، * و ** به ترتیب به معنی عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵٪ و ۱٪ است.

ادامه جدول ۲-

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	فلاونید کل	شاخص سطح برگ LAI	عملکرد وزن خشک
بلوک (R)	۲	۰/۷۲	۰/۱۶۵۵	۰/۹۱	۰/۰۱۵	۲۵۴۸۵۳/۱
آبیاری (I)	۲	۱۳/۴**	۰/۱۱۴۲	۱۶/۲**	۱۲/۳**	۵۲۲۳۹۱۴/۹**
R×I	۴	۰/۰۵۲	۰/۱۰۲۶	۰/۶۷	۰/۰۳	۱۴۴۷۹۵
کودی (F)	۵	۶/۳**	۰/۰۲	۲/۹۸**	۲/۴**	۱۱۰۵۵۵۱/۴**
F×I	۱۰	۴/۲**	۰/۰۷	۸/۵**	۲/۶**	۷۴۹۴۵۸/۵**
خطا	۱۰	۰/۲۱	۰/۰۵۴	۰/۶۴	۰/۰۵۳	۴۸۷۸۶/۹۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۳۷	۶/۵۵	۱۰/۵	۱۳/۸	۱۱/۶

بدون علامت، * و ** به ترتیب به معنی عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵٪ و ۱٪ است.

مراکز واکنش II باز است: جدول تجزیه واریانس (۲) نشان داد که بر همکنش صفت آبیاری و تیمار کودی بر این صفت در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) حاکی از آن است که به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار F_0 در تیمار کم آبیاری متوسط به همراه کود اوره با ۸۴۰/۶۶ و تیمار کم آبیاری شدید با کاربرد ورمی‌کمپوست با ۴۶۲ مشاهده گردید.

عامل F_0 بیانگر فلورسانس در زمانی است که پذیرنده کوئینون A فتوسیستم II در بالاترین مقدار شرایط اکسیداسیونی قرار دارد (مراکز فتوسیستم II باز هستند) (ممنوعی و سید شریفی، ۱۳۸۹). افزایش این پارامتر نشانگر افزایش فلورسانس و تخریب فتوسیستم II و یا به‌دلیل آسیب به کارکرد فتوسنتزی گیاهان است (Baghbani- Arani *et al.*, 2017).

گزارش شده است که جذب و تثبیت نیتروژن در شرایط تنش کاهش می‌یابد اما در این شرایط افزایش نیتروژن تا حد مشخصی باعث بهبود وضعیت تغذیه گیاه می‌شود. در نتیجه کاهش فلورسانس حداقل با مصرف نیتروژن در شرایط تنش، می‌تواند ناشی از نقشی که نیتروژن در افزایش کلروفیل a و b

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی در نعناع فلفلی تحت رژیم‌های آبیاری و کودی

رژیم آبیاری	رژیم کودی	شاخص سطح برگ	F_0	F_m	F_v
آبیاری مطلوب	کود اوره	۴/۲۸^{a}	۵۹۹/۳۳^{cdef}	۱۰۳۴^{cd}	۴۳۴/۶۶^{bcdef}
	بدون کود	۲/۹۹^{b}	۸۱۹^{ab}	۱۳۲۱^{ab}	۵۰۲/۶۶^{abcd}
	اوره + آزوکمپوست	۱/۷۰^{de}	۶۶۱^{abcde}	۱۱۴۶/۶۶^{abc}	۴۸۵/۶۶^{abcde}
	ورمی‌کمپوست	۴/۰۱^{a}	۵۲۱^{ef}	۹۵۶/۶۶^{cd}	۴۳۵/۶۶^{bcdef}
	آزوکمپوست	۱/۳۸^{efg}	۷۶۵/۶۶^{abc}	۱۳۴۵^{a}	۵۷۹/۳۳^{ab}
	ورمی کمپوست + اوره	۱/۳۰^{fgh}	۶۶۵/۳۳^{abcde}	۱۲۸۳^{ab}	۶۱۷/۶۶^{a}
کم آبیاری متوسط	کود اوره	۰/۷۲^{j}	۸۴۰/۶۶^{a}	۱۱۵۰/۶۶^{abc}	۳۱۰/۶۶^{fg}
	بدون کود	۱/۵۳^{def}	۶۵۵^{bcde}	۹۲۶^{de}	۲۷۱^{g}
	اوره + آزوکمپوست	۱/۸۳^{cd}	۷۱۰/۳۳^{abcd}	۱۱۲۵/۶۶^{bc}	۴۱۵/۳۳^{cdefg}
	ورمی‌کمپوست	۲/۲۰^{c}	۵۵۶/۶۶^{def}	۱۰۴۸/۶۶^{cd}	۴۹۲^{abcde}
	آزوکمپوست	۰/۷۶^{j}	۵۶۱^{def}	۱۰۰۶/۶۶^{cd}	۴۴۵/۶۶^{bcdef}
	ورمی کمپوست + اوره	۰/۹۹^{hij}	۵۷۹/۳۳^{def}	۹۱۷/۶۶^{de}	۳۳۸/۳۳^{efg}
کم آبیاری شدید	کود اوره	۰/۷۳^{j}	۶۶۴^{abcde}	۱۰۴۳/۳۳^{cd}	۳۷۹/۳۳^{defg}
	بدون کود	۰/۸۱^{ij}	۴۸۳/۳۳^{ef}	۸۵۶/۶۶^{e}	۳۷۳^{defg}
	اوره + آزوکمپوست	۱/۰۷^{ghij}	۵۱۳/۳۳^{ef}	۹۰۳/۶۶^{de}	۳۹۰/۳۳^{cdefg}
	ورمی‌کمپوست	۱/۲۷^{fgh}	۴۶۲^{f}	۹۹۱^{cd}	۵۲۹^{abcd}
	آزوکمپوست	۱/۳۰^{fgh}	۷۲۱^{abcd}	۱۰۲۱^{cd}	۳۰۰^{fg}
	ورمی کمپوست + اوره	۱/۱۹^{fghi}	۵۹۱^{cdef}	۱۱۳۵/۶۶^{bc}	۵۴۴/۶۶^{abc}

در هر ستون میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

دارد صورت گیرد (جلیل شش بهره و همکاران، ۱۳۹۶) به گونه‌ای که گزارش نمودند که مصرف ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در کم آبیاری شدید در گیاه سرخارگل، باعث کاهش میزان فلورسانس حداقل شده است که این نتایج با نتایج این آزمایش همسو است. علاوه بر این، افزایش مقدار پارامتر F_0 در شرایط تنش خشکی در مطالعات گوناگونی گزارش شده است (Paknejad *et al*., 2007; Hazrati *et al*., 2016) که برخلاف نتایج این آزمایش بوده است که علت آن در آزمایش دیگری این‌گونه بیان شده است که با افزایش سطوح تنش خشکی در گیاه کلزا مقدار فلورسانس F_0 کاهش یافت که علت این موضوع افزایش غلظت کلروفیل در سطح تنش نسبت به شاهد گزارش شده است (نعمتی و اصغری، ۱۳۹۱). F_0 در شرایط افزایش سطوح تنش خشکی بیشترین مقدار را نسبت به شرایط بدون تنش دارد که نشان‌دهنده انهدام و تخریب مراکز واکنش فتوسیستم II در شرایط تنش خشکی است (Havaux *et al*., 1998). با توجه به نتایج این آزمایش هر چه به‌شدت تنش افزوده می‌شود ولی مقدار F_0 کاهش پیدا می‌کند چرا که در اثر فراهمی نیتروژن به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های اصلی کلروفیل، توانسته اثرات تنش کم‌آبی را با افزایش میزان کلروفیل a، b و کل بهبود ببخشد (جلیل شش بهره و همکاران، ۱۳۹۶).

F_m: حداکثر فلورسانس زمانی که تمامی مراکز واکنش II بسته هستند: جدول تجزیه واریانس (۲) نشان داد که اثر برهمکنش آبیاری با رژیم کودی در سطح یک درصد معنی‌دار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

شده است. مقایسه میانگین این صفت نشان می‌دهد که با افزایش سطوح تنش، مقدار F_m کاهش یافت به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار F_m در تیمار آبیاری مطلوب به همراه آزوکمپوست با ۱۳۴۵ بوده است که از نظر آماری به‌ترتیب با تیمارهای آبیاری مطلوب با عدم مصرف کود، آبیاری مطلوب با کاربرد ورمی‌کمپوست+اوره، کم آبیاری متوسط به همراه کاربرد کود اوره و آبیاری مطلوب به همراه کاربرد آزوکمپوست + اوره تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین کم‌ترین مقدار F_m در تیمار کم آبیاری شدید با عدم مصرف کود با ۸۵۶/۶۶ مشاهده شده است (جدول ۳).

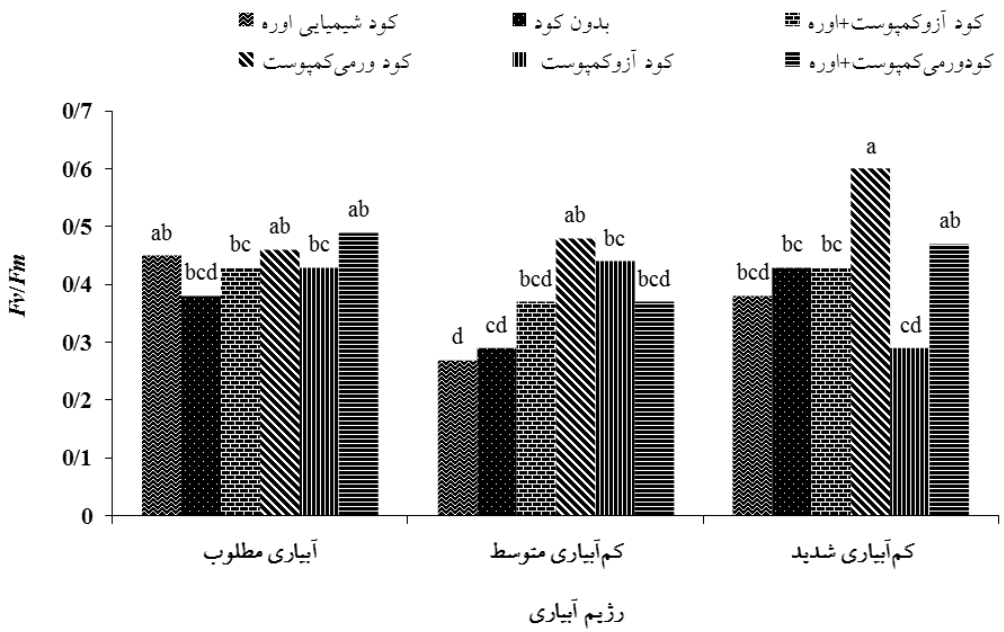
مطالعات نشان دادند که با افزایش سطوح تنش خشکی، پارامتر حداکثر کارایی کوانتومی برای تبدیل انرژی نور جذب شده به انرژی شیمیایی کاهش می‌یابد چرا که F_m در اثر تابش فتون‌های نوری و احیای همه ناقل‌های الکترون و بسته بودن همه مراکز واکنش ایجاد می‌شود (Mehta *et al.*, 2010) به‌عبارت دیگر، F_m بیانگر مقدار فلورسانس در زمانی است که کوئینون A فتوسیستم II در بالاترین مقدار شرایط احیایی قرار دارد (مراکز فتوسیستم II بسته هستند) (ممنوعی و سید شریفی، ۱۳۸۹). وقتی همه مراکز واکنشی فتوسیستم II بسته است، نشان‌دهنده افزایش تدریجی عملکرد فلورسانس و کاهش سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی است و هر چه سیستم دیرتر بسته شود، یعنی قادر باشد تعداد الکترون‌های بیشتری را بپذیرد F_m آن بالاتر یا سیستم کاراتر خواهد بود. در حقیقت، افزایش فلورسانس از F_0 به F_m به علت کاهش QB و مخزن بزرگی از پلاستوکوئینون (افشار محمدیان و همکاران، ۱۳۹۷) و اکسیداسیون کم‌تر QA و واکنش‌های فتوشیمیایی است (Wilson, 1993). گزارش‌های متعددی از کاهش F_m در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (وزان، ۱۳۸۸؛ Mohammadian *et al.*, 2003). درحالی‌که مصرف نیتروژن در شرایط تنش خشکی، موجب افزایش مقدار F_m شده است (صنایعی و همکاران، ۱۳۹۳).

F_v: تغییرات فلورسانس که عبارت است از F_m-F_o: جدول تجزیه واریانس (۲) نشان داد که در صفت Fv اثر برهمکنش رژیم کودی و آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار گردیده است. جدول مقایسه میانگین (۳) حاکی از آن است به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار Fv در تیمار آبیاری مطلوب به همراه کاربرد کود اوره + ورمی‌کمپوست با ۶۱۷/۶۶ و تیمار کم آبیاری متوسط با عدم کاربرد کود با ۲۷۱ مشاهده شده است.

اصولاً مقدار فلورسانس کلروفیل در زمانی که پذیرنده الکترون (QA) در حالت احیا باشد زیاد است و به این علت مقدار Fv نیز در این حالت زیاد می‌شود؛ اما زمانی که QA در حالت اکسیداسیون است مقدار فلورسانس کلروفیل کم می‌شود؛ در این حالت میزان Fv کاهش می‌یابد (Paknejad *et al.*, 2007). تنش‌های محیطی مقدار Fv را به علت ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II کاهش می‌دهند. از آنجا که Fv نشانگر احیای کامل QA است بنابراین می‌توان استنباط کرد که تنش خشکی در انتقال الکترون به فتوسیستم I اختلال ایجاد کرده است (Yordanov and Tsonev, 2002). یعنی تنش خشکی با تأثیر منفی بر همانندسازی کربن، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش و در نتیجه سیستم به سرعت به F_m می‌رسد که منجر به کاهش فلورسانس متغیر خواهد بود (Hak *et al.*, 1993). در مطالعات مختلفی گزارش شده است که کاهش دسترسی به نیتروژن عملکرد کوانتومی انتقال الکترون فتوسیستم II و حداکثر کارایی آن را کاهش داده در نتیجه کمبود نیتروژن، منجر به تخریب فتوسیستم II خواهد شد (Conming and Zang, 2000) که نتایج این آزمایش کاملاً با در گیاه شنبلیله (Baghbani- Arani *et al.*, 2017)، یونجه (صنایعی و همکاران، ۱۳۹۳) و در کلزا (نعمتی و اصغری، ۱۳۹۱) همپوشانی داشته است.

F_v.F_m: حداکثر عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی فتوسیستم II: جدول تجزیه واریانس نشان داد که در صفت Fv/Fm اثر برهمکنش رژیم آبیاری در رژیم کودی بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است (جدول ۲). در شکل ۱ برهمکنش رژیم آبیاری و رژیم کودی نشان داده شده است که بیشترین مقدار Fv/Fm در تیمار کم آبیاری شدید به همراه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]



شکل ۱- برهمکنش رژیم آبیاری و رژیم کودی بر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m)

کاربرد ورمی‌کمپوست با شاخص ۰/۶ به‌دست آمد ولی اختلاف معنی‌داری به‌ترتیب با تیمارهای آبیاری مطلوب به همراه کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست + اوره، کم آبیاری متوسط به همراه کاربرد ورمی‌کمپوست، کم آبیاری شدید به همراه کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست + اوره، آبیاری مطلوب به همراه کاربرد ورمی‌کمپوست و کم آبیاری مطلوب به همراه کاربرد کود اوره مشاهده نشده است و کم‌ترین مقدار این صفت در تیمار آبیاری متوسط به همراه کاربرد کود اوره با شاخص ۰/۲۷ مشاهده شد (شکل ۱).

پارامتر *Fv/Fm* نشان‌دهنده بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم II و عملکرد فتوسیستم II است و هنگامی‌که گیاه در شرایط تنش قرار می‌گیرد مقدار این پارامتر کاهش می‌یابد (Fracheboud, 2006) چرا که تنش خشکی، باعث ایجاد اختلالات در مجموعه فعالیت فتوسیستم II و تخریب ساختمان پروتئین D1 (پلی‌پپتید ساختمانی موجود در PSII) و در نهایت موجب کاهش پارامتر *Fv/Fm* می‌شود (Rahbarian *et al.*, 2011). مقدار این پارامتر برای گیاهانی که در شرایط تنش خشکی قرار ندارند در مطالعات مختلف بین ۰/۸۵-۰/۶۵ گزارش شده است (Zhao and Ren, 2007) و هرگونه تغییر از محدوده این اعداد می‌تواند ناشی از فتواکسیداسیون نوری و آسیب رسیدن به مراکز واکنش فتوسیستم II باشد (افشار محمدیان و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج این آزمایش با نتایج در گیاه گلرنگ (امیری و همکاران، ۱۳۹۵) و در گیاه شنبلیله (Baghbani- Arani *et al.*, 2017) همسو است.

اهمیت نیتروژن به‌عنوان یکی از اجزای لازم مولکول کلروفیل و ایفای نقش در تشکیل پروتئین‌ها را می‌توان برشمرد. مطالعات نشان دادند که کاهش دسترسی به این عنصر، عملکرد کوانتومی انتقال الکترون فتوسیستم II و حداکثر کارایی آن را کاهش می‌دهد و به دنبال آن باعث تخریب فتوسیستم II می‌شود و افزایش آن در گیاه باعث افزایش میزان کلروفیل و کاروتنوئید به دلیل افزایش سطح برگ شده که در نهایت موجب افزایش سبزینگی برگ، توانایی جذب نور خورشید و در نتیجه رشد و عملکرد گیاه را افزایش خواهد داد (Conming and Zang, 2000). در آزمایش که روی گیاه شنبلیله انجام شده بود گزارش کردند که برهمکنش ورمی‌کمپوست و تنش خشکی بر بازده کوانتومی معنی‌دار شده بود به‌صورتی‌که در شرایط تنش خشکی، ورمی‌کمپوست باعث افزایش *Fv/Fm* شده است؛ که کاملاً مطابق با نتایج این آزمایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

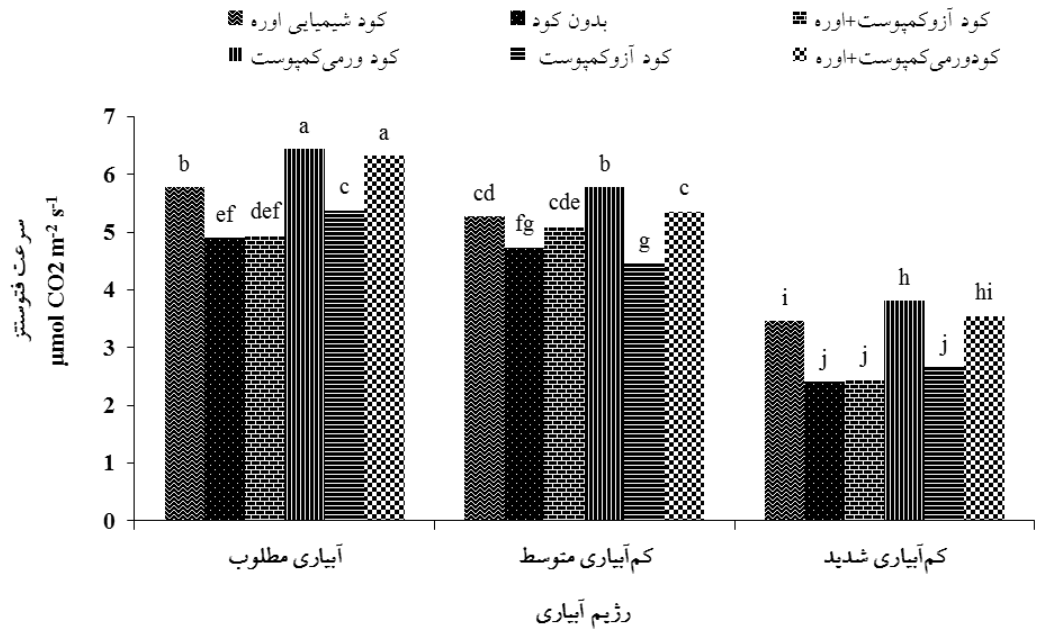
است (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۷). کمپوست به‌دلیل دارا بودن خصوصیات مطلوبی نظیر قابلیت نگهداری آب، ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش عناصر غذایی (ماکرو و میکرو) موجب افزایش پایداری سیستم فتوسنتزی گیاه از طریق کاهش تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن در زنجیره انتقال الکترون، افزایش قابلیت دسترسی بیشتر مواد مغذی و عناصر موردنیاز برای فعالیت‌های بیوشیمیایی می‌گردد (Arancon *et al*., 2005; Baghbani- Arani *et al*., 2017). در آزمایش دیگری روی گیاه شنبلیله گزارش شده است که کاربرد زئولیت و ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی به‌دلیل نقش آن‌ها در جذب و نگهداری و افزایش تبادلات یونی باعث افزایش نسبت *Fv/Fm* و کارایی فتوسیتم II شده است (Baghbani- Arani *et al*., 2017).

در مجموع، مقادیر F_v/F_m، F_m، F_v و F_0 پارامترهای بسیار مهم کلروفیل فلورسانس هستند که در بررسی و مطالعات فیزیولوژیکی تنش گیاهی ارزیابی می‌شوند. اکثر محققان گزارش کرده‌اند که مقدار F_0 تحت شرایط کم‌آبی افزایش اما مقادیر *Fv*، F_m و نسبت F_v/F_m کاهش خواهد (Hazrati *et al*., 2016; Paknejad *et al*., 2007).

سرعت فتوسنتز: جدول تجزیه واریانس (۲) نشان داد که برهمکنش صفت آبیاری و تیمار کودی بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نمودار برهمکنش رژیم آبیاری و رژیم کودی (شکل ۲) نشان داد که بیشترین مقدار سرعت فتوسنتز در تیمار آبیاری مطلوب به همراه کاربرد ورمی‌کمپوست حاصل گردید که با تیمار آبیاری مطلوب ورمی‌کمپوست + اوره اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. همچنین کم‌ترین مقدار این صفت در تیمار کم آبیاری شدید با عدم مصرف کود مشاهده شد که در با تیمارهای کم آبیاری شدید با کاربرد آزوکمپوست و اوره+ و کاربرد آزوکمپوست به تنهایی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲).

با کاهش مقدار آب در محیط ریشه، گیاهان با بستن روزنه‌های خود از ورود CO_2 ممانعت به عمل‌آورده که به دنبال آن کاهش فتوسنتز مشاهده می‌شود (Baghbani- Arani *et al*., 2017). کاهش فتوسنتز در گیاه مارتیغیال تحت تنش خشکی توسط زنگانی و همکاران (۱۳۹۶) گزارش شده است. کاهش سرعت فتوسنتز در طول دوره تنش خشکی ممکن است تحت تأثیر عوامل روزنه‌ای به علت کاهش فعالیت روبیسکو به علت کاهش ورود CO_2 و مهار سنتز ریبولوز بیس فسفات، فرآیند اکسیژناسیون (تنفس نوری) به‌جای کربوکسیلاسیون (فتوسنتز) انجام گیرد (Pagter *et al*., 2005). کاهش فتوسنتز هنگام تنش خشکی در گیاه بادرشبویه (جلالوند و همکاران، ۱۳۹۸) و آلوئه ورا (Hazrati *et al*., 2016) گزارش شده است. میزان فتوسنتز عامل اصلی تعیین‌کننده رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در صورت وجود تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است (Kaur *et al*., 2012). کمپوست‌ها به علت وجود مواد هیومیکی موجود در خود دارای ظرفیت جذب بالای فلزات هستند که به‌دلیل حضور گروه‌های دارای بار منفی نظیر کربوکسیلیک اسیدها و فنولیک اسیدها است که منجر به افزایش عناصر مغذی خاک و افزایش جذب آن‌ها توسط گیاهان می‌شود و بعضی از این عناصر غذایی فعال‌کننده آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (پروستتیک) در گیاهان به شمار می‌روند که می‌توانند در گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن نقش داشته باشند (Arancon *et al*., 2005). استفاده از کودهای آلی ورمی‌کمپوست در تحقیقات مختلفی نشان داده شده است که منجر به افزایش جمعیت برخی میکروارگانیسم‌های خاک نظیر باکتری‌ها تثبیت‌کننده اکتینومیست‌ها و جمعیت میکوریزایی همزیست با ریشه گیاهان می‌شود (Bender Ozenc, 2006). میکروارگانیسم‌های خاک مانند میکوریزا برای متابولیسم به کربوهیدرات‌های گیاه نیازمندند به دنبال آن تجمع قندها در ریشه افزایش یافته و با توجه به این‌که قندها از اسمولیت‌های سازگار محسوب می‌شوند در نتیجه می‌تواند در جهت تنظیم فشار اسمزی محیط ریشه نقش ایفا کند و منجر به بهبود اثرات منفی تنش مانند کمتر بسته شدن روزنه‌ها و فراهم شدن CO_2 مورد نیاز برای فتوسنتز شود همچنین این میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش سطح ورود آب به ریشه و توان گیاه را برای جذب بیشتر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]



شکل ۲- برهمکنش رژیم آبیاری و رژیم کودی بر سرعت فتوسنتز

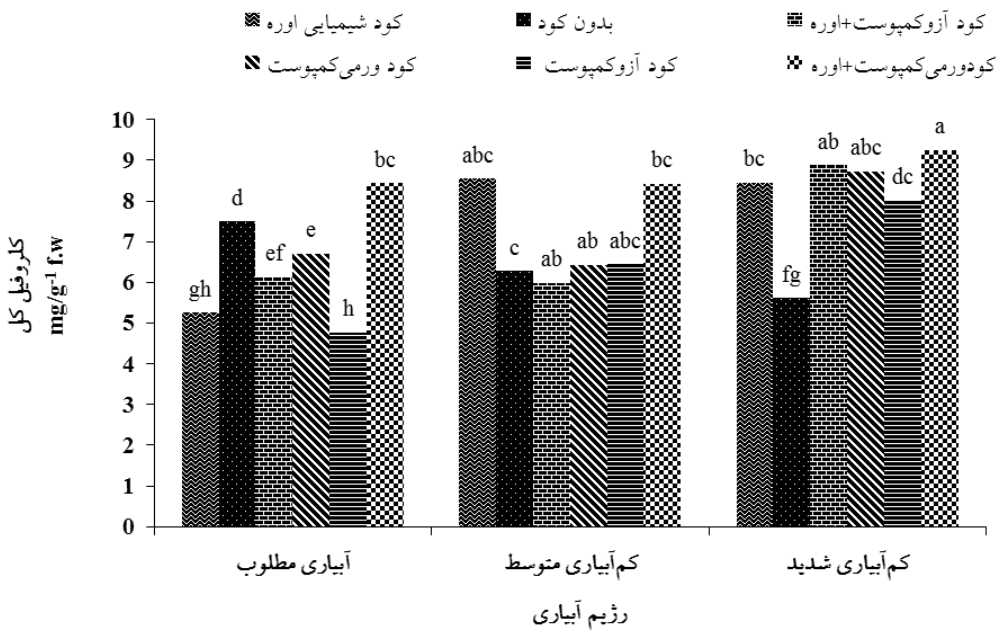
عناصر غذایی CO_2 و حفظ رطوبت افزایش داده که پیامد اصلی آن بیشتر بازماندن روزنه‌ها و افزایش سرعت فتوسنتز می‌شود (Arancon *et al*., 2005; Bender Ozenc, 2006; Baghbani- Arani *et al*., 2017). احمدپور و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند استفاده از کود کمپوست با کاهش محدودیت‌های روزنه‌ای (نظیر ورود به‌عنوان ماده اولیه فتوسنتزی، کاهش تنفس نوری، حفظ مکانیسم تعرق و انتقال غیرفعال در آوند چوب) می‌تواند نقش مهمی در ثبات و عملکرد سیستم فتوسنتزی داشته باشد. نتایج این آزمایش با نتایج در گیاه عدس (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۸) و آلوئه‌ورا (Hazrati *et al*., 2016) مطابقت دارد.

محتوای رنگدانه (نسبت کلروفیل a/b و کلروفیل کل): نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی رژیم آبیاری و رژیم کودی و برهمکنش رژیم آبیاری × رژیم کودی بر نسبت کلروفیل a/b معنی‌دار نگردید.

کلروفیل کل: نتایج جدول تجزیه واریانس (۲) نشان داد که اثر اصلی رژیم آبیاری و رژیم کودی و برهمکنش رژیم آبیاری× رژیم کودی بر مقدار کلروفیل کل معنی‌دار گردید. نمودار ۳ در برهمکنش رژیم آبیاری و رژیم کودی نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، مقدار کلروفیل کل افزایش یافت به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار کلروفیل کل در تیمار کم آبیاری شدید به همراه کاربرد ورمی‌کمپوست + اوره با (۹/۲۶) مشاهده گردید که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار کم آبیاری شدید به همراه کاربرد آزوکمپوست + اوره با (۸/۸۹) و تیمار کم آبیاری شدید با کاربرد ورمی‌کمپوست با (۸/۷۴) مشاهده نشد. همچنین کم‌ترین میزان کلرفیل کل در تیمار آبیاری مطلوب با کاربرد کود آزوکمپوست با (۴/۷۸) به‌دست آمد (شکل ۳).

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 رنگریزه‌های فتوسنتزی وجود دارد (نعیمی و همکاران، ۱۳۹۸). در این بین با توجه به‌شدت، مدت و مرحله رشدی، تأثیر خشکی بر هر کدام از مقادیر کلروفیل‌های b و a و نیز مقدار کاروتنوئید و آنتوسیانین در گیاهان متفاوت خواهد بود (Baghbani- Arani *et al*., 2017). گروهی از محققان بیان داشته‌اند که کاهش نسبی فراهمی آب خاک، منجر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]



شکل ۳- برهمکنش رژیم آبیاری و رژیم کودی بر کلروفیل کل

به افزایش تراکم کلروفیل برگ نعناع فلفلی (نظامی و همکاران، ۱۳۹۵)، نعناع سبز (رستمی و همکاران، ۱۳۹۸) شده است. به نظر می‌رسد که افزایش مقدار کلروفیل بر اثر تنش خفیف کم‌آبی به‌دلیل 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 به‌دلیل وجود سلول‌های بیشتر در واحد وزن برگ، میزان کلروفیل نیز افزایش می‌یابد (رستمی و همکاران، ۱۳۹۸). مطالعات دیگری نشان می‌دهد که محتوی کلروفیل با افزایش تنش‌های محیطی از جمله خشکی به علت تخریب آنزیمی کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که در تحقیقی گزارش گردید که تحت تنش شدید خشکی، محتوای کلروفیل a، b و کل در همه توده‌های مورد مطالعه ترخون کاهش یافت ولی در تنش خفیف در مقایسه با شاهد، تغییری مشاهده نشد (Mumivand *et al*., 2021). از دست دادن آب برگ نه تنها سنتز کلروفیل را مختل می‌کند بلکه به نظر می‌رسد باعث تخریب کلروفیل نیز می‌شود همچنین خشکی، باعث تجزیه کلروپلاست و کاهش غلظت کلروفیل می‌شود. از آنجایی که هم کلروفیل و هم پرولین از یک پیش ماده مشترک به نام گلوتامات سنتز می‌شوند، می‌توان بیان کرد که افزایش سنتز پرولین در شرایط تنش خشکی منجر به کاهش سنتز کلروفیل می‌شود (Mumivand *et al*., 2021). در مطالعه‌ای خیری و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که تنش کم‌آبی سبب کاهش میزان کلروفیل کل در نعناع فلفلی گردید درحالی‌که نعیمی و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که رژیم آبیاری بر میزان کلروفیل a و کل بابونه آلمانی معنی‌دار نبود. مطابق با یافته‌های این تحقیق، تنش کم‌آبی نسبت F_v/F_m را کاهش داده علاوه بر آن، باعث کاهش محتوای کل کلروفیل نیز گردیده است. یکی از دلایل کاهش محتوای کلروفیل، تخریب آن‌ها به‌وسیله گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) است. کم‌آبی باعث ایجاد اختلال در سیستم‌های آنزیمی کاهش‌دهنده فعالیت اکسیژن فعال، افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نتیجه خسارت به غشای سلولی و تخریب رنگدانه‌ها می‌گردد (Hazrati *et al*., 2016; Baghbani- Arani *et al*., 2017).

نیتروژن از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی است. نیتروژن علاوه بر ایفا نقش اصلی در تشکیل پروتئین‌ها، یک جز 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

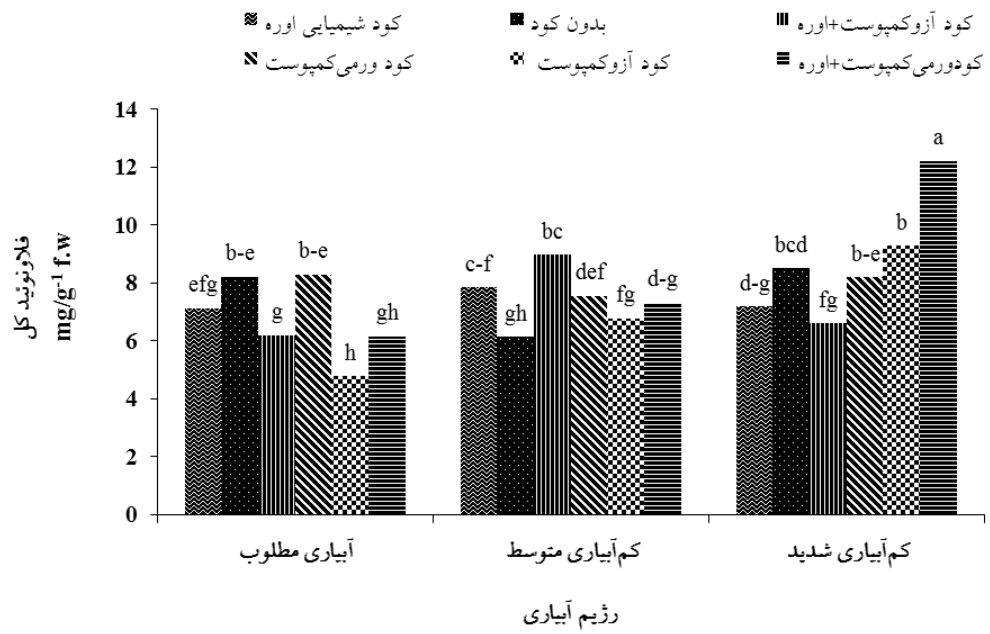
آن را کاهش می‌دهد. همچنین کمبود نیتروژن باعث تخریب فتوسیستم II می‌شود و با افزایش میزان نیتروژن در گیاه، باعث افزایش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها شده که به دنبال آن سبزینگی، توانایی جذب نور خورشید، تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت رشد و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد (Conming and Zang, 2000). در تحقیقی یوسف‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) روی گیاه بادرشبی گزارش کردند 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*., 2017) 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 به‌دلیل نقش آن در کاهش نیاز آبی گیاهان (۳۰ تا ۴۰ درصد) و افزایش فراهمی مواد غذایی قابل دسترس خاک (مقدار نیتروژن و فسفر در ورمی‌کمپوست اغلب ۵ تا ۱۱ برابر بیشتر از خاک است) خنثی شد. در این تحقیق، تنش خشکی در شرایط بدون کود نیتروژن، سبب کاهش میزان کلروفیل‌ها گردید، به‌گونه‌ای‌که به‌ترتیب تنش ملایم و شدید خشکی نسبت به شاهد، سبب کاهش ۱۶/۲۷ و ۲۵/۰۷ درصدی کلروفیل کل گردید (شکل ۳). 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*., 2017).

فلاوونوئید کل: جدول تجزیه واریانس (۲) نشان داد که اثر اصلی تیمارهای آزمایشی و برهمکنش بین آنها در سطح یک درصد بر مقدار فلاوونوئید کل معنی‌دار گردید. در شکل ۴ برهمکنش رژیم آبیاری و کودی نشان داد که به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار فلاوونوئید کل در رژیم کم آبیاری شدید با کاربرد ورمی‌کمپوست + اوره و در تیمار آبیاری مطلوب با کاربرد آزوکمپوست مشاهده شد.

ترکیب‌های فنلی گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه مانند ترکیب‌های فنل، فلاون‌ها، فلاونوئیدها، تانن‌ها و لیگنین‌ها و حتی اسیدهای آمینه حلقوی مثل تریپتوفان، تیروزین و پرولین را شامل می‌شوند که به دنبال آن نقش‌های متعدد اکولوژیکی و فیزیولوژیکی نظیر نقش‌های دفاعی و آنتی‌اکسیدانی را در گیاه ایفا می‌کنند. نبود آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث فعال شدن و انباشته شدن این ترکیبات می‌شود و همچنین این ترکیبات در شرایط فقر غذایی، تنش‌های زنده، آسیب‌های مکانیکی و یا تنش‌های حاصل از فلزات سنگین افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابند (Agati *et al*., 2012) و به‌عنوان جاروب‌کننده ROS ها قبل از صدمه به سلول شناخته می‌شوند (Lovdal *et al*., 2010). بسیاری از فلاونوئیدها جز فعالی از گیاهان دارویی بوده و دارای خواص دارویی هستند (Hazrati *et al*., 2016; Baghbani- Arani *et al*., 2017). محققین گزارش کردند که با وقوع تنش اکسیداتیو در گیاهان، بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانی و پروپانوئیدی به‌ویژه از مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها افزایش می‌یابد. در این راستا، تنش کم‌آبی باعث ایجاد تنش اکسیداتیو و در نتیجه منجر به افزایش ترکیبات فلاونوئیدی می‌گردد (Baghbani- Arani *et al*., 2017). در مطالعه‌ای گزارش گردید تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر میزان فلاونوئید در گیاه نعناع فلفلی داشته به گونه‌ای که که در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب تنش ملایم وتنش شدید میزان فلاونوئید را ۴۳/۶٪ و ۹۶/۴۸٪ افزایش داده است (عبدی و همکاران، ۱۳۹۷).

در آزمایشی با بررسی تأثیر اعمال کود دامی، کمپوست و ورمی‌کمپوست در گیاه دارویی مارچوبه نشان دادند که بیشترین میزان ترکیب فلاونوئیدی در تیمار ورمی‌کمپوست بدست آمده است (Saikia and Sristisri, 2011). یکی از دلایل افزایش میزان فلاوونوئیدها با کاربرد ورمی‌کمپوست، می‌تواند احتمالاً به‌دلیل در دسترس بودن مواد مغذی مانند کلسیم و فسفر و همچنین وجود مواد هیومیکی موجود در ورمی‌کمپوست به‌عنوان پیش‌ساز ترکیبات فنلی (Nourbakhsh

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]



شکل ۴- برهمکنش رژیم آبیاری و رژیم کودی بر فلاوونوئید کل

et al., 2016) می‌توان از دلایل افزایش فلاوونوئیدها در اثر مصرف ورمی‌کمپوست به آن اشاره کرد. همچنین در مطابقت با نتایج این تحقیق، گزارش شده است که کاربرد تلفیقی کمپوست و کود شیمیایی در مقایسه با شاهد شیمیایی میزان فلاونوئید کل را در گیاه ریحان (Anwar alytaie *et al.*, 2010) افزایش داد.

شاخص سطح برگ: نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که رژیم آبیاری و رژیم کودی و اثر برهمکنش رژیم آبیاری× رژیم کودی بر شاخص سطح برگ نعناع فلفلی معنی‌دار گردید. جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) برهمکنش رژیم آبیاری و رژیم کودی نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص سطح برگ کاهش یافت به‌گونه‌ای که بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری مطلوب به همراه کاربرد کود شیمیایی اوره با (۴/۲۸) مشاهده گردید ولی از نظر آماری با تیمار آبیاری مطلوب به همراه کاربرد ورمی‌کمپوست با شاخص (۴/۰۱) اختلاف معنی‌دار نداشتند؛ و کمترین شاخص سطح برگ در تیمار کم‌آبیاری مطلوب با کاربرد کود شیمیایی اوره با شاخص (۰/۷۲) به دست آمد. با این حال در کم آبیاری شدید مشاهده گردید که بیشترین شاخص سطح برگ، مربوط به تیمار کاربرد کود ورمی‌کمپوست با شاخص (۱/۲۷) است (جدول ۳).

در این پژوهش، نتایج به دست آمده در ارتباط با اثر تنش کم‌آبی در میزان شاخص سطح برگ مطابق با نتایج به دست آمده در بسیاری از گیاهان زراعی دیگر است (Fleury *et al.*, 2010). نتایج محققان در ارتباط با تأثیر تنش کم‌آبی در دو عامل تقسیم و بزرگ شدن سلولی در اندام‌ها نشان داده است که تنش کم‌آبی در بزرگ شدن سلول‌ها بیش‌تر از تقسیم شدن سلول تأثیر گذار است که این مسأله به وضوح در برگ‌ها نمایان می‌باشد و از این طریق سبب کاهش میزان شاخص سطح برگ در اثر تنش کم‌آبی می‌گردد (Vikram *et al.*, 2011). اکثر منابع فیزیولوژیک موجود در جهان به کاهش سطح برگ گیاه به واسطه تنش کم‌آبی اشاره کرده‌اند و دلیل این عکس‌العمل را غالباً کاهش میزان سرعت و گسترش سطح برگ‌ها به واسطه اختلال در میزان فتوسنتز و کاهش آماس سلولی و بالاخص زردی برگ‌ها و ریزش زودرس آن‌ها در زمان شروع رشد را در نتیجه اعمال تنش کم‌آبی دانسته‌اند (Baghbani- Arani *et al.*, 2017).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

آب و نیتروژن از عوامل عمده تعیین‌کننده سطح تولیدات کشاورزی در جهان هستند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که شاخص‌های فیزیولوژیک مانند شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، سرعت رشد نسبی و جذب خالص تحت تأثیر آب و کود نیتروژن قرار دارند (طریق الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۱). به‌دلیل این‌که اکثر شاخص‌های رشد به طریقی به شاخص سطح برگ وابسته هستند تغییر این شاخص از طریق تغییر در میزان آب مصرفی و کود نیتروژن یکی از عملی‌ترین راهکارهاست. در هر منطقه شاخص سطح برگی که بتواند حداکثر عملکرد را تولید نماید متفاوت است و بایستی از طریق پژوهش‌های محلی به‌دست آید (طریق الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۱).

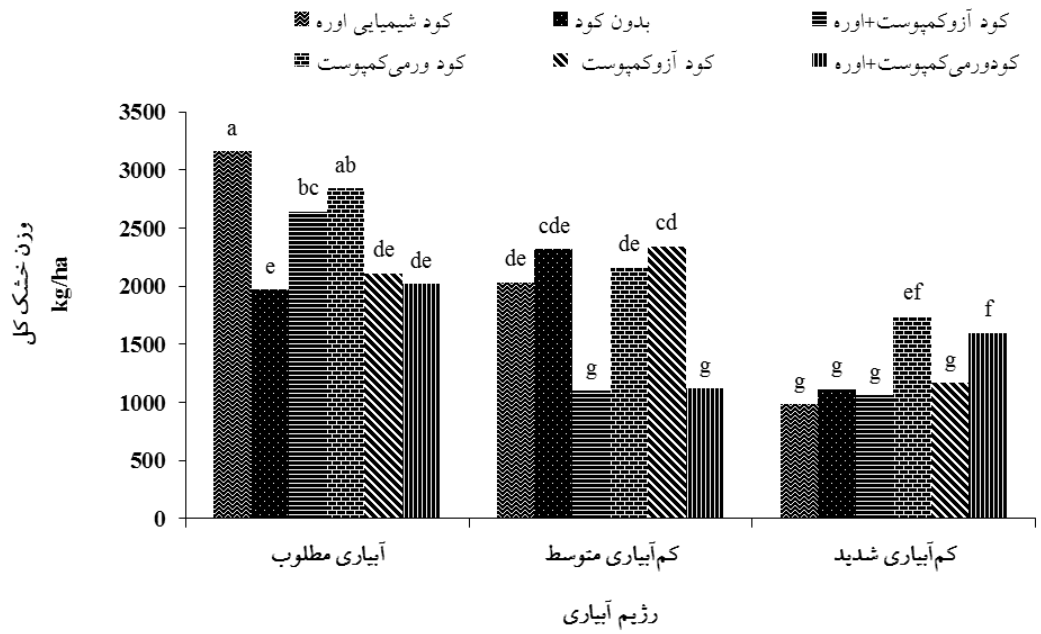
نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی در افزایش تولید گیاهان، به‌واسطه افزایش عملکرد ماده خشک، توسعه سطح برگ و بهبود فتوسنتز است. نیتروژن علاوه بر ایفا نقش اصلی در تشکیل پروتئین‌ها، یک جز لازم مولکول کلروفیل هم هست. کمبود نیتروژن در اکثر گیاهان باعث کاهش رشد رویشی، زایشی و در نهایت عملکرد می‌شود (Dordas and Sioulas, 2008). یکی از عوامل مؤثر بر توسعه سطح برگ هر بوته و به‌تبع آن، توسعه برگ مزرعه میزان نیتروژن است که با تأثیر بر اندازه و طول عمر برگ موجب افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. درصد نفوذ نور، نور فعال فتوسنتزی، کارایی استفاده از نور، تسهیم ماده خشک به ارگان‌های زایشی، شاخص سطح برگ و آهنگ رشد گیاهی تحت تأثیر میزان نیتروژن قرار می‌گیرند (Baghbani- Arani *et al*., 2017). طریق الاسلامی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که با افزایش کود نیتروژن از ۸۰ به ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در میزان شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه به‌وجود آمد. در میان شاخص‌های رشد فیزیولوژیکی جذب و تحلیل خالص، نسبت سطح برگ و نسبت وزن برگ کمتر تحت تأثیر کود نیتروژن قرار گرفت.

علاوه بر این در راستای مدیریت مؤثر مصرف آب در کشاورزی، استفاده از تکنیک‌های زراعی از جمله کاربرد کودهای آلی یا تقویت شرایط بیولوژیک خاک ممکن است در کاهش اثرات تنش کم‌آبی مؤثر باشند. یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست است. در این راستا، باغبانی آرانی و همکاران (Baghbani- Arani *et al*., 2017) نشان دادند که استفاده از کودهای ورمی‌کمپوست به علت آزادسازی تدریجی مواد غذایی در طول فصل رشد، باعث افزایش معنی‌دار حداکثر تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه و سرعت اسیمیلاسیون خالص گیاه شنبلیله در مقایسه با شاهد گردید.

عملکرد وزن خشک: نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی رژیم آبیاری و رژیم کودی و برهمکنش رژیم آبیاری × رژیم کودی بر عملکرد وزن خشک نعناع فلفلی معنی‌دار گردید. شکل ۵ برهمکنش رژیم آبیاری و رژیم کودی نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد وزن خشک کاهش یافت به‌گونه‌ای که بیشترین عملکرد وزن خشک در تیمار آبیاری مطلوب به همراه کاربرد اوره با (۳۱۵۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار) مشاهده گردید که از نظر آماری با تیمار آبیاری مطلوب به همراه کاربرد ورمی‌کمپوست با عملکرد (۲۸۴۱/۶۶ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشتند و کمترین عملکرد وزن خشک در تیمار کم‌آبیاری شدید به همراه کاربرد کود اوره با عملکرد وزن خشک (۹۷۹/۲۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. همچنین با توجه به جدول مقایسه میانگین در کم آبیاری شدید، بیشترین عملکرد وزن خشک در تیمار کاربرد ورمی‌کمپوست با عملکرد (۱۷۴۰ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (شکل ۵).

در مطابقت با نتایج این تحقیق، آبیار و همکاران (۱۳۹۶) 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 به‌ترتیب 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]



شکل ۵- برهمکنش رژیم آبیاری و رژیم کودی بر عملکرد وزن خشک کل

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 از جمله نیتروژن گیاه گردیده و سبب افزایش کارایی فتوسنتز و تولید ماده خشک گیاهان می‌گردد (آبیار و همکاران، ۱۳۹۶؛ Arancon *et al.*, 2005؛ Baghbani- Arani *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 در نتیجه کاهش کارایی فتوسنتز می‌گردد (گرگینی شبانکاره و همکاران، ۱۳۹۶). در تحقیقی (Baghbani- Arani *et al.*, 2017) گزارش گردید که در هر دو سال آزمایش، اثر برهمکنش رژیم آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک شنبلیله معنی‌دار گردید به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار برهمکنش آن‌ها بر آن در هر دو سال، در تیمار بدون تنش کم‌آبی به همراه ورمی‌کمپوست و کمترین آن در تیمار تنش شدید کم‌آبی بدون کود نیتروژن به‌دست 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 CO_2 قابل دسترس برای فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش کم‌آبی، فلورسانس حداکثر (F_m)، فلورسانس متغییر (F_V)، کارایی فتوسیستم II (F_V/F_m)، سرعت فتوسنتز، شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک را کاهش داد ولی فلورسانس حداقل (F_0) و میزان فلاونوئید کل را افزایش داد به‌گونه‌ای که تجمع بیشتر فلاونوئید کل در گیاهانی به‌دست آمد که در شرایط تنش شدید کم‌آبی با ورمی‌کمپوست و اوره قرار داشتند اما با کاهش معنی‌دار عملکرد ماده خشک مواجه گردید. در مجموع می‌توان گفت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

تنش کم‌آبی، علاوه بر اثری که در کاهش شاخص سطح برگ داشته با اثر منفی که بر کارایی و سرعت فتوسنتز گذاشته منجر به کاهش کل ماده خشک نعناع فلفلی گردید. از طرفی دیگر، در اکثر صفات مورد بررسی، تیمارهایی که با کود نیتروژن (خصوصاً ورمی‌کمپوست) تیمار شده بودند توانسته است اثرات منفی تنش آبی را تعدیل کنند به گونه‌ای که در شرایط تنش شدید کم‌آبی، بالاترین میزان وزن خشک کل در تیمار کود ورمی‌کمپوست بدست آمد که از نظر آماری با تیمارهای بدون تنش آبی (بدون مصرف کود، کود آزوکمپوست، کود ورمی‌کمپوست + اوره) و در شرایط متوسط تنش آبی (تیمارهای کود اوره، بدون کود، کود ورمی‌کمپوست و کود آزوکمپوست) و تنش شدید آبی (کود ورمی‌کمپوست + اوره) اختلاف معنی‌داری نداشتند. سرانجام براساس صفت وزن خشک کل، می‌توان گفت نعناع فلفلی در شرایط آبیاری مطلوب، بهترین عملکرد را تولید می‌نماید و نسبت به تنش‌های آبی اعمال‌شده، حساس است. همچنین در راستای کشاورزی پایدار و با توجه به دارویی بودن گیاه نعناع فلفلی، می‌توان با تلفیق کود شیمیایی اوره و ورمی‌کمپوست، به میزان ۵۰ درصد از مصرف کود شیمیایی کاست.

منابع

آبیار، سیما، فاخری، براتعلی، مهدی‌نژاد، نفیسه، و هراتی‌راد، مریم (۱۳۹۶). اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر شاخص‌های رشدی و درصد اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. *مجله زراعت و اصلاح نباتات*، ۱۳(۲)، ۲۹-۴۲.

احمدپور، راهله، آرمند، نظام، حسین‌زاده، سعیدرضا، و ریگی، گرشاسب (۱۳۹۷). تأثیر کود کمپوست بر برخی پارامترهای فتوسنتزی در سه مرحله رشد گیاه عدس (*Lens culinaris* Medik.) تحت تنش خشکی. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)*، ۳۱(۴)، ۹۲۶-۹۱۶. 20.1001.1.23832592.1397.31.4.2.4

افشار محمدیان، منصور، امیدی‌پور، مطهره، و جمال امیدی، فاطمه (۱۳۹۷). اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر محتوا و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل دو رقم لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.). *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)*، ۳۱(۳)، ۴۳-۳۰. 20.1001.1.23832592.1397.31.3.3.3

امیری، ایوب، سیروس‌مهر، علی‌رضا، یداللهی، پرویز، اصغری‌پور، محمدرضا، و اسماعیل‌زاده بهابادی، صدیقه (۱۳۹۵). تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و کیتوزان بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گلرنگ. *به‌زراعی کشاورزی*، ۱۸(۲)، ۴۶۶-۴۵۳. https://doi.org/10.22059/jci.2016.56581

بهرامی، حسینعلی، و صابر همیشگی، سیدمحمد (۱۳۹۴). راهنمای تغذیه گیاهی (جلد اول، ترجمه). سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی.

جلالوند، علی، عندلیبی، بابک، توکلی، افشین، و مرادی، پرویز (۱۳۹۸). بررسی اثرات سالیسیلیک اسید و سایکوسل بر روند تبادلات گازی بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) در شرایط تنش خشکی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۲(۲)، ۴۹۴-۴۸۱. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1413.1305

جلیل شش بهره، مرضیه، موحدی دهنوی، محسن، بحرینی‌نژاد، بابک، و صالحی، امین (۱۳۹۶). پاسخ عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) به منابع نیتروژن در سطوح مختلف آبیاری. *نشریه تولید گیاهان زراعی*، ۱۰(۳)، ۱۵۶-۱۴۳. 10.22069/EJCP.2018.11991.1921

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

خیری، عزیزاله، توری، هانیه، و مرتضوی، نجم‌الدین (۱۳۹۶). تأثیر تنش خشکی و جاسمونیک اسید روی صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). *دوماهنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۳(۲)، ۲۸۰-۲۶۸. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.106481.1783

رستمی، قادر، مقدم، محمد، سعیدی پویا، الهام، و آژدانیان، لادن (۱۳۹۸). اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نعناع سبز (*Mentha spicata* L.) تحت تنش خشکی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۲(۱)، ۱۱۰-۹۵. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1296.1264

زنگانی، اسماعیل، زهتاب سلماسی، سعید، عندلیبی، بابک، و زمانی، عباسعلی (۱۳۹۶). اثرات کاربرد خارجی سدیم نیترو پروساید در افزایش تحمل به خشکی در دو ژنوتیپ مارتیغال (*Silybium marianum* L. Gaertn.). *دو ماهنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۳(۴)، ۶۴۸-۶۳۶. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.108603.1906

صنایعی، سارا، عبادی، علی، پرمون، قاسم، و قلیزاده، لیلا (۱۳۹۳). اثر نیتروژن معدنی بر تغییرات فلورسانس رنگدانه‌های فتوسنتزی یونجه تحت شرایط تنش خشکی. *فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز*، ۶(۲۳)، ۲۰-۵.

طریق الاسلامی، محسن، ضرغامی، رضا، مشهدی اکبر بوجار، مسعود، و اویسی، میثم (۱۳۹۱). تأثیر تنش خشکی و مقادیر کود نیتروژن بر شاخص‌های فیزیولوژیک ذرت دانه‌ای. *مجله زارعت و اصلاح نباتات*، ۸(۱)، ۱۷۴-۱۶۱.

عبدی، غلامرضا، شکرپور، مجید، سلامی، سید علیرضا. و مارگاریتا برتانه، سینزیا (۱۳۹۷). تأثیر تنش کم‌آبی بر خصوصیات عملکردی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و متابولیت‌های نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). *علوم باغبانی ایران*، ۴۶(۳)، ۷۲۷-۷۱۵. 10.22059/ijhs.2017.238562.1291

گرگینی شبانکاره، حسین، و خراسانی‌نژاد، سارا (۱۳۹۶). اثر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر برخی ویژگی‌های مورفو فیزیولوژیکی و اسانس گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت رژیم‌های کم‌آبی. *نشریه تولید گیاهان زراعی*، ۱۰(۴)، ۷۴-۵۹. 10.22069/EJCP.2018.11699.1899

ممنوعی، ابراهیم، و سید شریفی، رئوف (۱۳۸۹). بررسی اثر کمبود آب بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و میزان پرولین در شش ژنوتیپ جو و رابطه آن با دمای آسمانه (Canopy) و عملکرد. *زیست شناسی گیاهی*، ۲(۵)، ۶۲-۵۱.

نظامی، سمیه، نعمتی، سیدحسین، آرویی، حسین، و باقری، عبدالرضا (۱۳۹۵). تأثیر رژیم‌های رطوبتی خاک در شرایط کنترل‌شده روی خصوصیات رشدی و زیست‌توده گونه‌های نعناع. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۳(۲)، ۷۱-۵۱.

نعمتی، معصومه، و اصغری، علی (۱۳۹۱). تغییرات مقدار و فلورسانس کلروفیل و قندهای محلول کل در ارقام کلزا در شرایط تنش اسمزی. *ویژه نامه نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۱۸۱-۱۶۷.

نعیمی، معصومه، دهقانی، محمد صادق، غلامعلی‌پور علمداری، ابراهیم، و جباری، حمید (۱۳۹۸). تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی کیتوزان بر صفات کیفی و فیزیولوژیکی بابونه آلمانی (Matricaria chamomilla L.). *نشریه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲، ۳۸-۲۵. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1374.1292

نوبخت، پریناز، عبادی، علی، پرمون، قاسم، و نیکخواه بهرامی، رسول (۱۳۹۷). اثر محلول‌پاشی پراکسید هیدروژن بر رنگدانه‌های فتوسنتزی نعناع فلفلی در شرایط محدودیت آبی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۷(۲۷)، ۲۹-۱۹.

وزان، سعید (۱۳۸۸). بررسی فلورسانس کلروفیل، کارایی فتوسنتز و رابطه آنها با هدایت روزنه‌ای و عملکرد ژنوتیپ‌های چغندرقند در شرایط تنش خشکی. *مجله پژوهش‌های به زراعی (تنش‌های محیطی در علوم گیاهی)*، ۱(۱۱)، ۱۰۰-۹۸.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

یوسف‌زاده، سعید، مدرس ثانوی، سید علی محمد، و باغبانی آرانی، ابوالفضل (۱۳۹۴). تأثیر کاربرد کود زیستی، آزوکمپوست و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های خاک و عملکرد اسانس در گیاه دارویی بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.). *مجله کشاورزی بوم‌شناختی*، ۲(۵)، ۵۰-۳۷.

Agati, G., Azzarello, E., Pollastri, S., & Tattimi, M. (2012). Flavonoids as antioxidants in plants: Location and functional significance. *Plant Science*, *196*, 67-76. DOI: 10.1016/j.plantsci.2012.07.014

Anwar alytaie, H., Abd-El rahman Salama, Z., & Radwan, S. (2010). Potential activity of basil plants as a source of antioxidants and anticancer agents as affected by organic and bio-organic fertilization. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj- Napoca*, *38*(1), 119-127. https://doi.org/10.15835/nbha3813534

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. DOI:10.1016/j.pedobi.2005.02.001

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), 1-150. DOI: 10.1104/pp.24.1.1

Baghbani- Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mashhadi Akbar Boojar, M., & Mokhtassi Bidgoli, A. (2017). Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crop & Products*, *109*, 346-357. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.049

Bender Ozenc, D. (2006). Effects of composted hazelnut husk on growth of tomato plants. *Compost Science and Utilization*, *14*, 271-275. https://doi.org/10.1080/1065657X.2006.10702296

Conming, L. & Zang, J. (2000). Photosynthetic CO_2 assimilation chlorophyll fluorescence and photoihibiton as affected by nitrogen deficiency in maize plants. *Journal Plant Science*, *151*, 135-143. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00207-1

Dordas, C. & Sioulas, C. (2008). Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rain-fed conditions. *Industrial Crops and Products*, 27, 75-85. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.07.020

Fleury, D., Jefferies, S., Kuchel, H., & Langridge, P. (2010). Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, *61*(12), 3211-3222. https://doi.org/10.1093/jxb/erq152

Fracheboud, Y. (2006). Using chlorophyll fluorescence to study photosynthesis. Institute of Plant Sciences ETH, Universitatstrass, CH-8092 Zurich.

Hak, R., Rinderle-Zimmer, U., Lichtenthaler, H. K., & Natr, L. (1993). Chlorophyll a fluorescence signatures of nitrogen deficient barley leaves. *Photosynthetica* (Czech Republic).

Havaux, M., Emez, M., & Lannoye, R. (1998). Selection de varieties de bale dur (*Triticum durum* Desf.) etde bale tender (*Triticum aestivum* L.) adapted a la secberesse par I measure de I extinction de la fluorescence dela chlorophyll in viva. *Agronomy*, *8*(3), 193-199.

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 Biochemistry*, *106*, 141-148. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.04.046

Kaur, G., Singh, H. P., Batish, D. R., & Kohli, R. K. (2012). Growth, photosynthetic activity and oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum*) after exposure of lead to soil. *Journal of Environmental Biology*, 33, 265-269.

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*(6), 1674-1681. https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1497545

Krizek, D. T., Kramer, G. F., Upadhyaya, A., & Mirecki, R. M. (1993). UV-B response of cucumber seedlings grown under metal halide and high pressure sodium.deluxe lamps. *Physiologia Plantarum*, 88, 350-358. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1993.tb05509.x

Lovdal, T., Olsen, K. M., Slimestad, R., Verheul, M., & Lillo, C. (2010). Synergetic effects of nitrogen depletion tempereature, and light on the content of phenolic compounds and gene expression in leaves of tomato. *Phytochemistry*, *71*(5), 605-613. DOI: 10.1016/j.phytochem.2009.12.014

Lundkvist, A., Salomonsson, L., Karlsson, L., & Gustavsson, A. (2008). Effects of organic farming on weed flora composition in a long term perspective. *European Journal of Agronomy*, *28*, 570-578. https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.001

Mumivand, H., Izadi, Z., Amirizadeh, F., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2023). Biochar amendment improves growth and the essential oil quality and quantity of peppermint (*Mentha* × *piperita* L.) grown under waste water and reduces environmental contamination from waste water disposal. *Journal of Hazardous Materials*, *446*, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130674

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

Mumivand, H., Ebrahimi, A., Shayganfar, A., & Hassaneian Khoshro, H. (2021). Screening of tarragon accessions based on physiological and phytochemical responses under water deficit. *Scientific Reports*, *11*, 1-15. DOI: 10.1016/j.plaphy.2009.10.006

Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S., & Bharti, S. (2010). Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on photosystem II in wheat leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(1), 16-20. DOI: 10.1016/j.plaphy.2009.10.006

Mohammadian, R., Rahimian, H., Moghaddam, M., & Sadeghian, S. Y. (2003). Effect of early drought stress on sugar beets chlorophyll fluorescence. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *6*(20), 1763-1769.

Mokhtassi-Bidgoli, A., Agha Alikhani, M., Nassiri-Mahallati, M., Zand, E., Gonzalez-Andujard, J. L., & Azarie, A. (2013). Agronomic performance, seed quality and nitrogen uptake of Descurainia Sophia in response to different nitrogen rates and water regimes. *Industrial Crops and Products*, *44*, 583-592. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.018

Nourbakhsh, F., Chalavi, V., & Akbarpour, V. (2016). Effect of vermicompost and nitroxin on vegetative growth and some biochemical properties of rosemary herb. *Journal of Horticulture Science*, *30*(2), 178-184. DOI: 10.22067/JHORTS4.V30I2.34190

Pagter, M., Bragato, C., & Brix, H. (2005). Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquatic Botany*, *81*, 285-299. https://doi.org/10.1007/s11632-013-0208-8

Paknejad, F., Majidi heravan, E., Noor mohammadi, Q., Siyadat, A., & Vazan, S. (2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *American Journal of Biochemist and Biotechnology*, 5, 162-169. DOI: 10.3923/jbs.2007.841.847

Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A., & Najafi, F. (2011). Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Acta Biologica Cracoviensia, Series Botanica*, *53*(1), 47-56. DOI: 10.2478/v10182-011-0007-2

Ranjbar- Fordoei, A., Samson, R., & Van Damme, P. (2013). Some ecophysiological characteristics of arta (*Calligonum comosum* Herit) in response to drought stress. *Forest Science and Practice*, 15(2), 114-120.

Saikia, L. R. & Sristisri, U. (2011). Antioxidant activity, phenol and flavonoid content of *A. racemosus* Willd. a medicinal plant grown using different organic manures. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, *2*(2), 457-463.

Zhao, G., Q. M. & Ren, C. (2007). "Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity", *Crop Science*, *47*(1), 123-131. DOI: 10.2135/cropsci2006.06.0371

Vikram, P., Swamy, B. M., Dixit, S., Ahmed, H. U., Cruz, M. T. S., Singh, A. K., & Kumar, A. (2011). QDTY 1.1, a major QTL for rice grain yield under reproductive-stage drought stress with a consistent effect in multiple elite genetic backgrounds. *BMC Genetics*, *12*(1), 89. DOI: 10.1186/1471-2156-12-89

Wilson, J. A. (1993). Development of fluorescence-based screening programs for temperature and water stress in crop plants. *Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress*, 389-398.

Yordanov, V. & Tsonev, T. (2002). Plant responses to drought, acclimation and stress tolerance. *Photosynthica*, *38*(1), 171-186.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

The effect of organic and chemical nitrogen fertilizer application on chlorophyll fluorescence indices, chlorophyll and flavonoid content, photosynthesis rate, leaf area index and dry matter yield of peppermint under deficit water stress

Hosein Ebrahimi- Sborezi [1], Seyed Ali Mohammad Modares- Sanavi [1]*, Abolfazl Baghbani-Arani [2]

[1] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[2] Department of Agriculture Science, Faculty of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
(Received: 2023/01/12, Accepted: 2023/04/25)

Abstract

In order to determine the effects of water deficit stress, nitrogen fertilization on chlorophyll fluorescence, chlorophyll and flavonoid content and LAI dry matter yield of Peppermint, a split plot experiment was laid out in a randomized complete block design with three replications in the research field of Tarbiat Modares University in 2018. The experimental treatments consisted of three irrigation regimes (respectively after depleting 25, 40 and 55% of available water in the root growth zone) as the main factor and six fertilizer treatments based on nitrogen requirement as sub-factors. The results demonstrated that water deficit stress significantly decreased maximum chlorophyll fluorescence (F_m), variable chlorophyll fluorescence (F_v), the photochemical efficiency of PSII (F_v/F_m), photosynthesis rate, LAI and dry matter yield, but minimum fluorescence (F_0) and flavonoid concentration increased under water deficit stress. The results indicate that the drought stress caused the light inhibition of photosystem II and also, by reducing the leaf area, led to a decrease in the yield of dry matter of peppermint in such a way that the severe drought stress caused a decrease of 43% compared to the control. On the other hand, in most of the examined traits, the treatments that were treated with nitrogen fertilizer (especially vermicompost) improved the photosynthetic indices and, finally, the dry matter performance of the plant and also managed to moderate the negative effects of severe water deficit stress on them .In addition, in the direction of sustainable agriculture and due to the medicinal nature of peppermint, it is possible to reduce the consumption of chemical fertilizers by 50% by combining urea and vermicompost.

Keywords: Azocompost, Drought stress, Photosynthetic parameters, Urea, Vermicompost

Corresponding author, Email: modaresa@modares.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]