نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار/ جلد ۲۷ شماره ۲/ تابستان ۱۳۹۶

تأثیر کودهای شیمیایی، زیستی و آلی بر شاخص‌های رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان تحت شرایط آبیاری کم و بهینه

فاطمه سلیمانی[۱]، گودرز احمدوند[۲*]، علی اکبر صفری سنجانی[۳]

تاریخ دریافت:۹۵/٤/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۵

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات (گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی) دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۳- استاد گروه خاکشناسی (گرایش بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
*مسئول مکاتبه: gahmadvand@basu.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی تاثیر کودهای شیمیایی، زیستی و آلی و سطوح آبیاری بر برخی شاخص‌های رشد و عملکرد آفتابگردان، آزمایشی در سال ۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل دو سطح آبیاری بهینه و کم آبیاری (به ترتیب آبیاری پس از ٦۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) به عنوان کرت‌های اصلی و تیمارهای کودی شامل:۱- عدم کاربرد کود (شاهد)، ۲- کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی پیشنهاد شده (NP)، ۳- ورمی‌کمپوست، ٤- فسفونیتروکارا، ٥- ورمی‌کمپوست+ فسفونیتروکارا، ٦- ورمی‌کمپوست+ ۵۰٪ کود شیمیایی پیشنهاد شده، ۷- فسفو نیتروکارا+ ۵۰٪ کود شیمیایی پیشنهاد شده، ۸- ورمی‌کمپوست+ فسفونیتروکارا+ ۵۰٪ کود شیمیایی پیشنهاد شده ۹- ۵۰٪ کود شیمیایی پیشنهاد شده به عنوان کرت‌های فرعی بود. کم آبیاری تمامی صفات مورد بررسی را به طور معنی‌داری کاهش داد. شاخص‌های رشد، غلظت کلروفیل و کاروتنوئید، عملکرد بیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، روغن و پروتئین تحت تاثیر تیمارهای کودی در مقایسه با شاهد بدون مصرف کود، افزایش نشان دادند. عموماً، در شرایط آبیاری بهینه حداکثر میزان صفات مذکور، در تیمار کاربرد کامل کود شیمیایی به دست آمد. اما در تنش کم آبیاری کودهای زیستی و آلی به ویژه تیمارهای ورمی‌کمپوست+ ۵۰٪ کود شیمیایی و فسفونیتروکارا+ ۵۰٪ کود شیمیایی از جایگاه بهتری نسبت به کاربرد کامل کود شیمیایی برخوردار بودند. به طور کلی، از مقایسه سطوح مختلف کودی می‌توان چنین نتیجه گیری کرد که کودهای زیستی و آلی در کنار مقادیر کاهش یافته کودهای شیمیایی می‌توانند نیازهای تغذیه‌ای آفتابگردان را به ویژه در شرایط کم آبیاری تامین نمایند.

واژه های کلیدی: آفتابگردان، فسفونیتروکارا، کاروتنوئید، کلروفیل، ورمی‌کمپوست

Effect of Chemical, Biological and Organic Fertilizers on Growth Indices, Yield and Yield Components of Sunflower Under Optimum and Deficit Irrigation

Fatemeh Soleymani[1], Goudarz Ahmadvand[2*], Ali Akbar Safari Sinegani[3]

Received: July 14, 2016 Accepted: February 13, 2017
1-PhD student Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedanm, Iran.
2-Assoc. Prof., of Agronomy, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
3-Prof. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
*Corresponding Author: Email: gahmadvand@basu.ac.ir

Abstract

The effect of chemical, biological and organic fertilizers and irrigation treatment on some growth indices and yield of sunflower (*Helianthus annuus* (L.) Var. Euroflour) were studied by a split-plot experiment based on randomized complete block design with three replications at Research Farm of Bu-Ali Sina University in 2015. Main plots consisted of two irrigation levels: optimum irrigation and deficit irrigation stress (irrigation after 60 and 120 mm evaporation from evaporation pan, class A, respectively) and sub-plots included of fertilizer treatments: 1- control (no fertilizer application), 2- full recommended dose of chemical fertilizers (NP), 3- vermicompost, 4- phospho-nitro kara, 5- vermicompost+ phospho nitro kara, 6- vermicompost+ ½ chemical fertilizers, 7- phospho nitro kara+ ½ chemical fertilizers, 8- vermicompost+ phospho nitro kara+ ½ chemical fertilizers, 9- ½ chemical fertilizers. Deficit irrigation reduced all traits, significantly. Growth indices, chlorophyll and carotenoid content, biological yield, seed, oil and protein yield increased as effected by fertilizer treatments. Generally, in optimum irrigation, maximum amount of mentioned traits were achieved in full dose of chemical fertilizers. But, in deficit irrigation treatment, biological and organic fertilizers, especially treatments of vermicompost+ ½ chemical fertilizers and phospho nitro kara+ ½ chemical fertilizers had the better rating than the full application of chemical fertilizers. In general, by comparing the studied fertilizers it could be concluded that bio and organic fertilizers with reduced doses of chemical fertilizers could provide sunflower nutritional needs, especially in deficit irrigation conditions.

Keywords: Carotenoid, Chlorophyll, Phospho Nitro Kara,Sunflower, Vermicompost

مقدمه

آفتابگردان(*Helianthus annuus* L.) یکی ازمهم-ترین دانه‌های روغنی در جهان محسوب می‌شود. درصد روغن بالا و ترکیب مناسب اسیدهای چرب دانه، تحمل کمبود آب و سازگاری گسترده آفتابگردان با شرایط آب و هوایی مختلف، موجب شده است که سطح زیر کشت آن در کشور به۷۰۰۰۰ هکتار برسد (فائو ۲۰۱۳).

تامین رطوبت کافی برای دستیابی به عملکرد اقتصادی بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آنچنان که تخمین زده شده، کمبود آب عملکرد محصول را به طور میانگین سالانه در مقیاس جهانی ۵۰ درصد کاهش می‌دهد (وانگ و همکاران ۲۰۰۳). علاوه بر این جذب عناصر غذایی توسط گیاه نیز تحت تاثیر میزان آب موجود در خاک واقع می‌گردد.

کاربرد کودهای شیمیایی یکی از روش‌های معمول برای تامین مواد غذایی گیاهان و افزایش تولیدات کشاورزی است، با این وجود، اغلب بخشی از کودهای شیمیایی به کار رفته شسته شده و از خاک خارج (داورد و همکاران ۲۰۰٤) و یا از طریق فرآیندهای مختلف به شکل غیر قابل دسترس گیاه تبدیل می‌شوند (سانچز و همکاران ۲۰۰۱). برای جبران این کمبودها، عالباً کاربرد کود شیمیایی بیشتر از نیاز واقعی گیاه است که باعث می‌شود باقی‌مانده کودها در محیط آزاد و منجر به تشدید آلودگی محیط زیست گردد. یک راه برای حل این مشکل، افزایش جذب مواد مغذی توسط گیاه زراعی از طریق محرک‌های زیستی است. باکتری‌های محرک رشد از جمله ازتوباکتر (*Azotobacter* sp.)، آزوسپیریلیوم (*Azosprillium* sp.) و باسیلوس‌ها (*Bacillus* sp.) از طریق فرآیندهای مختلفی از قبیل تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های محرک رشد، محلول‌سازی فسفات و افزایش فسفر قابل جذب گیاه از طریق ترشح آنزیم‌های مختلف و اسیدهای آلی (وسی ۲۰۰۳)، افزایش جذب عناصر، افزایش مقاومت به تنش‌ها، تولید ویتامین‌ها و کنترل زیستی عوامل بیماری‌زا (کندی ۲۰۰٤) در رشد گیاه موثرند. علاوه بر این، کود آلی ورمی‌کمپوست نیزبا افزایش ماده آلی خاک، بهبود خصوصیات شیمیایی خاک،افزایش ظرفیت نگهداری آب، افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و میزان دسترسی به مواد غذایی رشد و نمو گیاهان را بهبود می‌بخشد (رناتو و همکاران ۲۰۰۳).

تولید گیاهان زراعی با فتوسنتز همبستگی مثبتی دارد و کارآیی استفاده از نور[1] و فتوسنتز به مجموع سطح برگ کانوپی و محتوای کلروفیل آن وابسته می‌باشد (بانرجی و همکاران ۲۰۱۲)، بنابراین، تولید و توسعه برگ و حفظ آن را می‌توان به عنوان عامل مهمی در جهت بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی دانست. تحقیقات بسیاری در زمینه تاثیر مثبت کودهای زیستی بر رشد و تولید گیاهان مختلف انجام شده است. بررسی‌های وانگ و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که سطح برگ چمن ترکه (*Panicum virgatum*) در اثر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد ٤٦ درصد افزایش یافت. در مطالعات ماریوس و همکاران (۲۰۰۵) تلقیح باکتریایی آفتابگردان، غلظت کلروفیل و کاروتنوئید را افزایش داد و موجب بهبود رشد و عملکرد محصول گردید. سوبرامانیان و همکاران (۲۰۰٦) گزارش کردند که همزیستی میکوریزی و تلقیح گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) با باکتری‌های سودوموناس (*Pseudomonas*)، منجر به کاهش اثرات مخرب کمبود آب بر عملکرد اقتصادی شد. همچنین جلیلیان و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی پیامدهای کاربرد باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن به همراه کود نیتروژن بر آفتابگردان تحت رژیم‌های گوناگون آبیاری، نشان دادند که عملکرد بذر آفتابگردان با کاربرد هم‌زمان کود نیتروژن و باکتری‌های مذکور بهبود پیدا می‌کند.

در این پژوهش نیز با توجه به کمبود آب و از طرفی اثرات مخرب مصرف بی رویه کودهای شیمیایی بر محیط زیست و با هدف بررسی امکان جایگزینی بخشی از کودهای شیمیایی توسط کودهای زیستی و آلی در شرایط آبیاری بهینه و کم آبیاری به مطالعه برخی از شاخص‌های رشدی موثر بر عملکرد اقتصادی و بیولوژیک آفتابگردان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان با مختصات عرض جغرافیایی ۳٤ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی، با ارتفاع ۱۷٤۱ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی ۳۳۰ میلی‌متر در سال، انجام شد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و میزان عناصر غذایی و برخی خصوصیات ورمی-کمپوست مورد استفاده در جدول (۱) ارائه گردیده است.

1- Radiation use efficiency

جدول ۱- مشخصات خاک مزرعه و ورمی‌کمپوست

	pH	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابلجذب (mg/kg)	نیتروژن کل (٪)	ماده آلی (٪)	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)
خاک	۸	۱۱	۳۲٦	۰/۱	۱	۰/۱۸
ورمی‌کمپوست	۸	۱۲۰۰	۱۷۲۷	۰/۸٤	۹/۵۱	۳/۳٦

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل آبیاری در دو سطح: آبیاری بهینه و تنش کمبود آب به ترتیب آبیاری پس از ٦۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A و کرت-های فرعی در نه سطح تغذیه‌ای: ۱- عدم کاربرد هر گونه کود شیمیایی و زیستی (شاهد)، ۲- کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی(NP) پیشنهاد شده بر اساس آزمون خاک، ۳- کود آلی ورمی‌کمپوست، ٤- کود زیستی فسفونیتروکارا، ٥- ورمی‌کمپوست+ فسفونیتروکارا، ٦- ورمی‌کمپوست+۱/۲ کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، ۷- فسفو نیتروکارا+ ۱/۲ کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده، ۸- ورمی‌کمپوست+ فسفونیتروکارا+ ۱/۲ کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده و ۹- ۱/۲ کود شیمیایی نیتروژن و فسفر پیشنهاد شده بدون کود زیستی بودند. در هر کرت آزمایشی ٦ خط به طول پنج متر در نظر گرفته شد و فاصله خطوط ٦۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت، ۲۵ سانتی‌متر بود. کاشت بذور به صورت دستی و در ۱۰ خرداد ماه انجام شد. با توجه به آزمون خاک و تیمارهای مورد نظر، کود شیمیایی نیتروژن از منبع اوره به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار(یک سوم به صورت پایه و دو سوم به صورت سرک در زمان آغاز رشد سریع بوته‌ها و قبل از گلدهی) و فسفر نیز از منبع سوپرفسفات تریپل به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار و نیمی از میزان پیشنهاد شده در خاک به کار رفت. کود زیستی فسفونیتروکارا که دارای باکتری‌های حل کننده فسفات و تثبیت کننده نیتروژن (باسیلوس کوآگولانس (*Bacillus coagulans*)، ازتوباکتر کروکوکوم (*Azotobacter crococom*) و آزوسپیریلوم لیپوفروم (*Azospirillum lipoferum*) است، براساس پیشنهاد شرکت سازنده به میزان ۱۱۰ سی سی به ازاء ۱۰ کیلوگرم بذر و به صورت بذرمال استفاده شد. پس از تلقیح، بذور تیمار شده در سایه خشک شدند و بلافاصله پس از خشک شدن کامل، در کرت‌های مربوطه کشت انجام شد. ورمی‌کمپوست نیز در تیمارهای مورد نظر به میزان ۱۵ تن در هکتار پیش از کاشت با خاک آمیخته شد. با تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) به روش فائو- پنمن مونتیث و ضرایب گیاهی (Kc) در مراحل مختلف رشد، نیاز آبی گیاه (ET_{crop}) در منطقه مورد آزمایش از معادله (۱) (آلن و همکاران ۱۹۹۸) و سپس با در نظر گرفتن بارندگی موثر، راندمان آبیاری (٦۰ درصد) و مقدار تخلیه مجاز رطوبتی (٤٥ درصد) در منطقه توسعه ریشه، حجم آب آبیاری برآورد شد (دورنباس و کاسام ۱۹۷۹).

$$ET_{crop}= K_c\times ET_0 \qquad [رابطه ۱]$$

آبیاری با استفاده از لوله پلی اتیلن انجام و مقدار آب مصرفی در هر بار آبیاری با استفاده از کنتور کنترل گردید. زمان شروع اعمال تنش کم آبیاری پس از استقرار گیاه در مرحله ۸-٦ برگی بود (چیمنتی و هال ۲۰۰۲).

برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI) (معادله ۲)، سرعت رشد محصول (CGR) (معادله ۳) و دوام شاخص سطح برگ (LAID)(معادله ٤) از فرمول‌های زیر استفاده شد (کوچکی و سرمدنیا ۱۹۹۹).

$$LAI= ([LA_1/G_A]+[LA_2/G_A])/2 \qquad [رابطه ۲]$$

$$CGR= (W2-W1)/(t_2-t_1)\times G_A) \qquad [رابطه ۳]$$

$$LAID=\sum[(LAI_1+LAI_2)/2\times(t_2-t_1)] \qquad [رابطه ٤]$$

در این فرمول‌ها W_1 وW_2به ترتیب وزن خشک کل در نمونه‌برداری اول و دوم، LA_1 وLA_2 به ترتیب سطح

برگ نمونه‌برداری اول و دوم، t_1 و t_2 به ترتیب زمان نمونه‌برداری اول و دوم و G_A سطح نمونه‌برداری شده بر حسب متر مربع است.

در مرحله گلدهی مقدار ۰/۵ گرم از بافت برگ گیاه برداشت در ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد یکنواخت گردید پس از سانتریفیوژ به مدت ۵ دقیقه، میزان جذب نور عصاره با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ٦٦٣، ٦٤٥ و ٤٧٠ نانومتر اندازه‌گیری و سپس برای تعیین غلظت کلروفیل a(Chla) (معادله ٥)، b (Chlb) (معادله ٦) و کاروتنوئید (Car) (معادله ٧) اعداد قرائت شده در فرمول‌های زیر قرار داده شدند (آرنون ۱۹٤۹).

Chl.a= [((12.7×A663)-(2.69×A645))× 10] / (100×0.5) [رابطه ٥]

Chl.b= [((22.9×A645)-(4.69×A663)) ×10]/ (100×0.5) [رابطه ٦]

Car= [(100×A470)-(1.8×chla)-(85.02×chlb)] /198 [رابطه ٧]

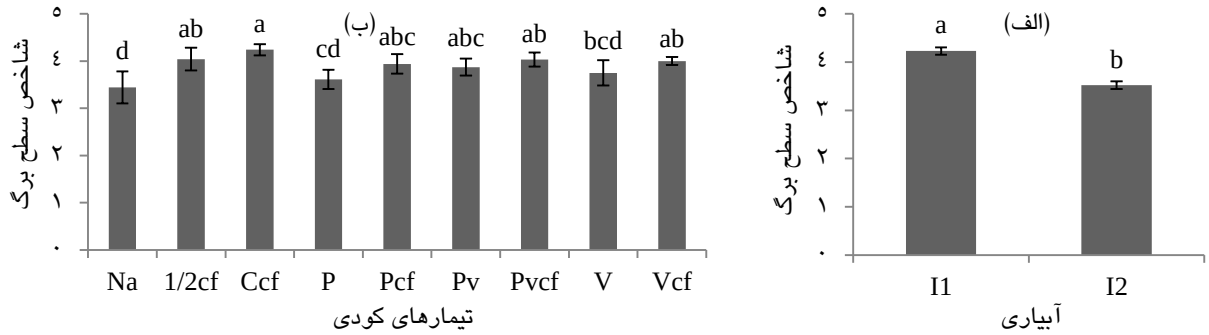
در پایان فصل، عملکردو اجزاء عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد روغن و پروتئین دانه آفتابگردان اندازه‌گیری شد. درصد پروتئین با روش کلدال تعیین و اندازه‌گیری روغن نیز با روش سوکسله انجام شد. پردازش داده‌ها و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار SAS 9.2 و Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام گرفت.

نتایج و بحث

تیمار آبیاری تمامی پارامترهای مورد بررسی را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد. همچنین کلیه صفات، تحت تاثیر عامل کود قرار گرفتند. برهمکنش کود و آبیاری نیز به جز حداکثر شاخص سطح برگ و غلظت کلروفیل a بر سایر صفات معنی‌دار بود (جد.ل ۲).

حداکثر شاخص سطح برگ: بیشترین میزان حداکثر شاخص سطح برگ در آبیاری بهینه حدوداً ۲۰/۲ درصد بیشتر از تنش کم آبیاری بود (شکل ۱، الف). در مطالعات ابراهیمی و همکاران (۲۰۱٤) نیز تنش کمبود آب، شاخص سطح برگ آفتابگردان را به ترتیب در سال اول و دوم اجرای آزمایش حداکثر ٤٨ و ۳۷ درصد کاهش داد. تنش کم آبی باعث افت آماس سلولی، کاهش جذب مواد مغذی توسط گیاه و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول‌های برگ می‌گردد (آرائوس و همکاران ۲۰۰۳). همچنین، افت شاخص سطح برگ تحت شرایط تنش کمبود آب را می‌توان به ریزش برگ‌ها به منظور کاهش تبخیر و تعرق نیز نسبت داد.

بیشترین و کمترین حداکثر شاخص سطح برگ آفتابگردان به ترتیب به میزان ٤/۲٤ و ۳/٤٤ در تیمارهای کاربرد کامل کود شیمیایی و عدم مصرف کود حاصل شد (شکل ۱، ب). تلقیح بذور با کودهای زیستی به همراه کود آلی و شیمیایی در مقایسه با شاهد، افزایش معنی‌دار این صفت را به دنبال داشت (شکل ۱). در مطالعات بانرجی و همکاران (۲۰۱۲) حداکثر شاخص سطح برگ خردل در تیمار تلفیقی دوز کاهش یافته کود شیمیایی به همراه کود زیستی حاصل شد. کومار و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که شاخص سطح برگ کنجد (*Sesamum indicum*) در تیمارهای کاربرد کامل کود شیمیایی، نیمی از کود شیمیایی، سودوموناس آئروژینوزا (*Pseudomonas aeruginosa*)+ ۱/۲ کود شیمیایی و سودوموناس آئروژینوزا در مقایسه با شاهد به ترتیب ۳۳/۳، ۲۵، ۳۵ و ۲۵/۹ درصد بیشتر بود. سید شریفی (۲۰۱۱) علت افزایش شاخص سطح برگ ذرت (*Zea mays*) در اثر تلقیح با ازتوباکتر را افزایش سرعت ظهور برگ و کاهش فیلوکرون عنوان کرد. گزارش‌های بسیاری تاثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد بر بهبود شاخص سطح برگ گیاهان مختلف را تائید کرده‌اند (احمد و همکاران ۲۰۱۰، جهان و همکاران ۲۰۱۳ و وانگ و همکاران ۲۰۱۵). به نظر می‌رسد افزایش شاخص سطح برگ در اثر تلقیح کود زیستی و آلی به علت تامین و جذب بهتر عناصر باشد.



شکل ۱- اثر سطوح آبیاری (الف) و تیمارهای کودی (ب) بر حداکثر شاخص سطح برگ آفتابگردان

(I1: آبیاری بهینه، I2: تنش کم آبیاری، Ccf: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، 1/2cf: ۵۰ درصد کود شیمیایی، Na: عدم مصرف کود، V: ورمی‌کمپوست، P: فسفونیتروکارا). (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند).

دوام شاخص سطح برگ: بیشترین میزان دوام شاخص سطح برگ (LAI۲۱۹/۰۳- روز) در آبیاری بهینه و کاربرد کامل کود شیمیایی به دست آمد. عدم مصرف کود تحت شرایط کمبود آب، کمترین میزان صفت مزبور (LAI ۱۱۵/۰۹- روز) را به همراه داشت (جدول ۳). در هر دو سطح آبیاری، کاربرد کودها نسبت به شاهد، دوام شاخص سطح برگ را افزایش داد (جدول ۳). در کم آبیاری، بیشترین دوام شاخص سطح برگ (LAI ۱۷۵/۰۲- روز) در کاربرد همزمان ورمی کمپوست+ ۱/۲ کود شیمیایی به دست آمد. همچنین در تنش کم آبیاری، تیمارهای فسفونیتروکارا+ ورمی-کمپوست و فسفونیتروکارا+ ورمی‌کمپوست+ ۱/۲ کود شیمیایی توانستند به خوبی دوام شاخص سطح برگ آفتابگردان را حفظ کنند. آنچنان که اختلاف معنی‌داری در این صفت بین تیمارهای ذکر شده با کاربرد کامل کود شیمیایی مشاهده نشد (جدول ۳)، این موضوع حکایت از تاثیر مثبت کاربرد همزمان کودهای زیستی، آلی و شیمیایی دارد. هر چند در هر دو سطح آبیاری، کاربرد جداگانه و تلفیقی ورمی‌کمپوست به همراه سایر کودها در مقایسه با شاهد باعث افزایش دوام سطح برگ شد، اما درصد افزایش در تیمار کم آبیاری بسیار بیشتر از آبیاری بهینه بود به طوری که تیمارهای ورمی‌کمپوست+ ۱/۲ کود شیمیایی، ورمی‌کمپوست، فسفونیتروکارا+ ورمی‌کمپوست و فسفونیتروکارا+ ورمی‌کمپوست+ ۱/۲ کود شیمیایی نسبت به شاهد به ترتیب افزایش ۳۴، ۲۱، ۲۷ و ۳۰ درصدی دوام شاخص سطح برگ را در پی داشتند، که موید افزایش کارآیی کودهای مورد مطالعه در حضور ورمی‌کمپوست تحت تنش کم آبیاری است. در مطالعات بانرجی و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیشترین دوام سطح برگ خردل (*Brassica campestris*) در تیمار تلفیقی کودهای شیمیایی، زیستی و آلی مشاهده شد. بالاتر بودن دوام سطح برگ در تیمارهای یاد شده را می‌توان به آزادسازی آهسته نیتروژن از کود آلی و در نتیجه تداوم جذب آن توسط گیاه در طی فصل رشد نسبت داد که منجر به تاخیر در پیری برگ‌ها و در نتیجه دوام بیشتر شاخص سطح برگ شده است.

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس برخی صفات رشدی و خصوصیات فیزیولوژیکی آفتابگردان تحت تاثیر سطوح آبیاری و تیمارهای کودی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		حداکثر شاخص سطح برگ	دوام شاخص سطح برگ	حداکثر سرعت رشد محصول	حداکثر تجمع ماده خشک	غلظت کاروتنوئید	غلظت کلروفیل a	غلظت کلروفیل b
تکرار	۲	۰/۲٤۸^{ns}	۲۳۷/۱۳^{ns}	۳/۹٤^{ns}	۲۹۹٦۱/٦^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۰/۰۱۹^{ns}
آبیاری	۱	٦/۸۷٦*	۱۹۹٦٥/۱*	٤٦۲/٤۱**	۱۹٤۱۱٤٥/۹٤**	۰/۰۹٤*	۱/۲٦*	۰/۷۱۳*
خطایa	۲	۰/۱۱٥	۲۱٦/۸۹	۳/٦	۱۲۸۲۸/۲۱	۰/۰۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰۹
کود	۸	۰/۳٥۹**	۱۳٤۲/۸۸**	۳۷/۹**	۱۷۰٦۱۲/۰٥**	۰/۰۱۹**	۰/٤٦**	۱/۰٤٥**
کود × آبیاری	۸	۰/۱۳٤^{ns}	۲٤۳/٦۱*	۱۲/٥۱**	٦۷۰۰٥/۹۱**	۰/۰۰۲*	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۲٦**
خطای b	۳۲	۰/۱۰۷	۱۰۳/۳۷	۲/۲۷	۱۲۰۲٥/۸۹	۰/۰۰۰۸	۰/۰۳	۰/۰۰٤
ضریب تغییرات (٪)		۸/٤	٥/۹	۷/۹	۸/٦	٦/٦	۱۲/٥	۸/۱

ns، * و **به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ٥ و ۱ درصد می باشد.

حداکثر سرعت رشد محصول: تنش کم آبیاری به شدت حداکثر سرعت رشد محصول را کاهش داد. بیشترین و کمترین میزان این صفت به ترتیب در شرایط آبیاری بهینه و تیمار کاربرد کامل کود شیمیایی (۲٦/٦۲ گرم در متر مربع در روز) و تنش کم آبیاری و عدم مصرف کود (۱۱/٥۸ گرم در متر مربع در روز) به دست آمد (جدول ۳). همان طور که مشاهده می‌گردد بیشترین میزان سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ در یک تیمار (کاربرد کامل کودهای شیمیایی) حاصل شد. بنابراین می‌توان اظهار داشت که سطح برگ بالاتر، منجر به جذب بیشتر نور و به تبع آن افزایش فتوسنتز، آسیمیلاسیون و بهبود سرعت رشد آفتابگردان شده است.

کاهش سرعت رشد آفتابگردان تحت شرایط کمبود آب توسط کرام و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش شده است. تقریباً در اکثر ترکیبات کودی به کار رفته، میزان حداکثر سرعت رشد محصول در مقایسه با شاهد افزایش یافت، آنچنان که در شرایط آبیاری بهینه بین تیمار فسفونیتروکارا+ ورمی‌کمپوست+ ۱/۲ کود شیمیایی با کاربرد کامل کود شیمیایی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در شرایط کم آبیاری نیز بیشترین مقدار صفت مزبور (۱۹/۲۹ گرم در متر مربع در روز) به کاربرد هم‌زمان کود زیستی و نیمی از کود شیمیایی تعلق داشت که حدود ٤۰ درصد بیشتر از شاهد تحت شرایط کمبود آب بود. همچنین، بین این تیمار با فسفونیتروکارا+ ورمی‌کمپوست، ورمی‌کمپوست+ ۱/۲ کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست تفاوت چشمگیری وجود نداشت (جدول ۳).

به نظر می‌رسد میکروارگانیسم‌های محرک رشد با تثبیت زیستی نیتروژن و حل کردن فسفات، گسترش سطح ریشه، کمک به حفظ و بهبود جذب آب و عناصر غذایی، تولید هورمون‌های رشد و برخی ویتامین‌ها، منجر به افزایش سرعت رشد آفتابگردان شده‌اند (آرانکون و همکاران ۲۰۰٤). صرفنظر از سطوح آبیاری و کابرد کامل کود شیمیایی، تیمارهای تلفیقی در مقایسه با کاربرد جداگانه کودها، از نظر حداکثر سرعت رشد محصول جایگاه بهتری را به خود اختصاص دادند. بانرجی و همکاران (۲۰۱۲)، نیز گزارش کردند که حداکثر سرعت رشد خردل در تیمار تلفیقی دوز کاهش یافته کود شیمیایی به همراه کود زیستی حاصل شد. در مطالعات یساری و پاتواردن (۲۰۰۷)، سرعت رشد کلزا (*Brassica napus*) تحت تاثیر تلقیح بذور با باکتری‌های محرک رشد نسبت به عدم تلقیح ۱۰ تا ۱۲ درصد افزایش

نشان داد، همچنین، سرعت رشد کلزا در کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی نسبت به کاربرد جداگانه آن-ها، بیشتر بود. تاثیر مثبت کود آلی تحت تنش کم آبیاری بر حداکثر سرعت رشد آفتابگردان در مقایسه با آبیاری بهینه بارزتر بود، به طوری که مقدار این صفت تحت تنش کمبود آب، در تیمار کود آلی + ۱/۲ کود شیمیایی به طور معنی‌داری بیشتر از کاربرد کامل کود شیمیایی بود (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین صفات مورد مطالعه آفتابگردان تحت تاثیر سطوح آبیاری در تیمارهای کودی

آبیاری	کود	دوام شاخص سطح برگ (LAI-day)	حداکثر سرعت رشد محصول ($g.m^{-2}.day^{-1}$)	حداکثر ماده خشک ($g.m^{-2}$)	غلظت کاروتنوئید ($mg.g^{-1}.fw^{-1}$)	غلظت کلروفیل b ($mg.g^{-1}.fw^{-1}$)
آبیاری بهینه	عدم مصرف کود	۱۷۱/۳۳^{efg}	۱۷/٦۷^{efg}	۱۱۳۷/۸^{efgh}	۰/۳۸۰^{gh}	۰/٤^{gh}
	کود کامل شیمیایی	۲۱۹/۰۳^{a}	۲٦/٦۲^{a}	۱۸۰٦/۵٤^{a}	۰/۵۷۷^{a}	۱/٦۱^{a}
	۱/۲ کود شیمیایی (1/2cf)	۱۹۵/۵۵^{bc}	۲۱/۱٦^{cd}	۱٤۱۲/۰۷^{cd}	۰/٤۹٦^{bc}	۰/۵۸^{f}
	فسفونیتروکارا (P)	۱۸۵/٤۷^{bcde}	۱۹/۲^{de}	۱۲۸۱/۳٤^{de}	۰/۳۹۸^{fgh}	۰/۵۵^{f}
	P+V	۱۸۹/۸٤^{bcd}	۲۳/۷٦^{b}	۱۵۸۵/۹۱^{bc}	۰/٤۹۱^{bc}	۱/۲۸^{c}
	P+1/2cf	۱۸٤/۹٦^{bcde}	۲٤^{b}	۱٦۲۸/۸۱^{ab}	۰/۵۰٦^{b}	۰/۵۳^{f}
	P+V+1/2cf	۲۰۱/۳۳^{b}	۲٤/۱٤^{ab}	۱۵۵۰/۲۳^{bc}	۰/۵۵٦^{a}	۰/۵٦^{f}
	ورمی کمپوست (V)	۱۷۹/۲۹^{cdef}	۱۸/۵۳^{ef}	۱۲۵۹/۸۱^{def}	۰/٤۳۹^{def}	۱/۲^{cd}
	V+1/2cf	۱۸۹/٦۲^{bcd}	۲۲/٤^{bc}	۱٤۹٤/٦۱^{bc}	۰/٤۹٤^{bc}	۱/٤٤^{b}
کم آبیاری	عدم مصرف کود	۱۱۵/۰۹^{i}	۱۱/۵۸^{j}	۷۲۰/۹٦^{j}	۰/۳۱۱^{i}	۰/۲۸^{i}
	کود کامل شیمیایی	۱۷۱/٦^{efg}	۱۵/۵۳^{gh}	۹۷٤/٦۸^{hi}	۰/٤۸۵^{bcd}	۱/۱۱^{d}
	۱/۲ کود شیمیایی (1/2cf)	۱٤٤/۸۲^{h}	۱٤/۳۲^{hi}	۱۰۹٦/٦۳^{fghi}	۰/٤۱۳^{efg}	۰/۳۵^{hi}
	فسفونیتروکارا (P)	۱٤۰/٤۷^{h}	۱۲/۵۷^{ij}	۹۲۰/۱^{i}	۰/۳۵۲^{i}	۰/۳۷^{ghi}
	P+V	۱۵۷/۰۲^{gh}	۱۸/۳۹^{ef}	۱۲۲۷/۳۷^{efg}	۰/۳۸۵^{gh}	۰/۹۱^{e}
	P+1/2cf	۱۵۵/۵۷^{h}	۱۹/۲۹^{de}	۱۳۰۰/۸۹^{de}	۰/٤۱٦^{efg}	۰/٤^{gh}
	P+V+1/2cf	۱٦۵/٤۵^{fg}	۱٦/۵^{fgh}	۱۰٤٦/۸۱^{ghi}	۰/۳۸۵^{gh}	۰/٤۸^{fg}
	ورمی کمپوست (V)	۱٤۵/۲۷^{h}	۱۸/۰۳^{efg}	۱۲۱۵/۸۳^{efg}	۰/۳۸^{gh}	۰/۹۳^{e}
	V+1/2cf	۱۷۵/۰۲^{def}	۱۸/٦^{ef}	۱۲٤۱/۱^{def}	۰/٤۵۸^{cde}	۱/۲۵^{c}

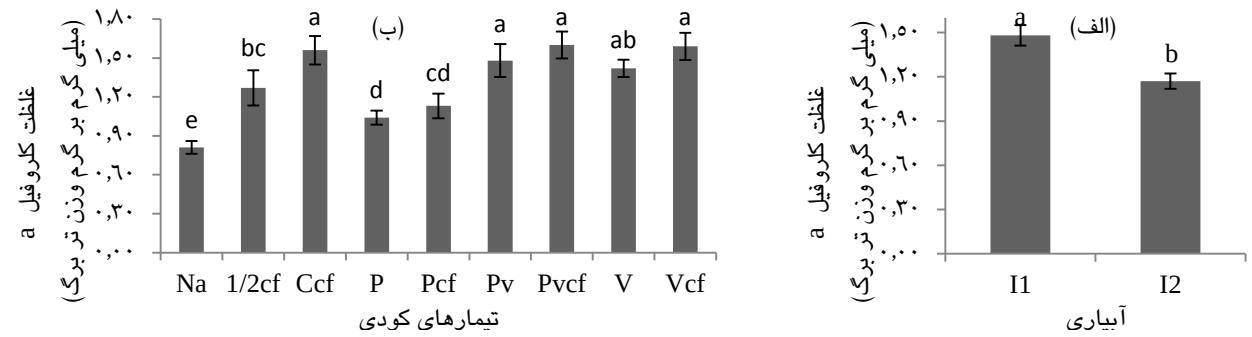
1/2cf: ۵۰ درصدکودهای شیمیایی پیشنهاد شده، V: ورمی کمپوست، P: فسفونیتروکارا. (در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند.)

حداکثر ماده خشک: کمترین میزان حداکثر ماده خشک (۷۲۰/۹٦ گرم در متر مربع) در شرایط کم آبیاری و عدم مصرف کود مشاهده شد (جدول ۳). با توجه به نتایج به دست آمده از حداکثر شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول، به نظر می‌رسد که تنش کم آبیاری با کاهش شاخص سطح برگ موجب افت سرعت رشد محصول و در نهایت کاهش تجمع ماده خشک در آفتابگردان شده است. کرام وهمکاران (۲۰۰۷) نیز بیان داشتند که تنش کم آبیاری ماده خشک آفتابگردان را کاهش داد. بیشترین میزان حداکثر ماده خشک در آبیاری بهینه و کاربرد کامل کود شیمیایی با ۵۸/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد به دست آمد، هر چند که اختلاف معنی‌داری با تیمار تلقیح بذور با فسفونیتروکارا + ۱/۲ کود شیمیایی نداشت (جدول ۳). از طرفی در آبیاری بهینه، کاربرد جداگانه ورمی‌کمپوست و فسفونیتروکارا نسبت به شاهد، افزایش معنی‌داری را در حداکثر ماده خشک به همراه نداشت که

مبین تاثیر مطلوب این کودها در تلفیق با یکدیگر و کودهای شیمیایی می‌باشد. همچنین، در شرایط کمبود آب کاربرد هم‌زمان فسفونیتروکارا و نیمی از کود شیمیایی، بیشترین میزان صفت یاد شده را به خود اختصاص داد. هر چند اختلاف معنی‌داری بین این تیمار و فسفونیتروکارا+ ورمی‌کمپوست، ورمی‌کمپوست+۱/۲ کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست وجود نداشت (جدول ۳). بیشتر بودن دوام سطح برگ در این تیمارها باعث دریافت انرژی خورشیدی در مدت زمان طولانی‌تر بوده که به سبب افزایش مدت فعالیت فتوسنتزی گیاه، ماده خشک بیشتری نیز تولید کرده است. با توجه به آنچه گفته شد و همچنین عدم اختلاف معنی‌دار کاربرد جداگانه فسفونیتروکارا با مصرف کامل کود شیمیایی می‌توان به اثر هم‌افزایی کود زیستی و شیمیایی بر صفت حداکثر تجمع ماده خشک اشاره کرد. در بررسی تلقیح بذور ذرت با ازتوباکتر و آزوسپریلیوم، تلقیح باکتریایی منجر به افزایش معنی‌دار ماده خشک گیاه شد (جهان و همکاران ۲۰۰۷). همچنین در آزمایشات یساری و پاتواردهان (۲۰۰۷) تجمع ماده خشک کلزا تحت تاثیر ترکیب کود زیستی (شامل ازتوباکتر و آزوسپریلیوم) و شیمیایی به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود.

غلظت کاروتنوئید: کاربرد کامل کود شیمیایی و تیمار تلفیقی فسفونیتروکارا+ ورمی‌کمپوست+ ۱/۲ کود شیمیایی تحت شرایط آبیاری بهینه اختلاف آماری با یکدیگر نداشته و تیمارهای مذکور بیشترین میزان کاروتنوئید را به خود اختصاص دادند. کمترین میزان این صفت (۰/۳۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نیز در تنش کمبود آب و عدم مصرف کود به دست آمد. حداکثر میزان کاروتنوئید تحت تنش کم آبیاری، با کاربرد کامل کود شیمیایی به دست آمد که حدود ٦٠ درصد بیشتر از شاهد بود. همچنین در کم آبیاری، اختلاف آماری بین غلظت کاروتنوئید در این تیمار و کاربرد هم‌زمان ورمی-کمپوست+ ۱/۲ کود شیمیایی مشاهده نشد (جدول ۳). در هر دو سطح آبیاری، به جز کاربرد جداگانه فسفونیتروکارا، سایر تیمارهای کودی منجر به افزایش معنی‌دار میزان کاروتنوئید نسبت به شاهد خود شدند (جدول ۳). با به نظر می‌رسد با کاربرد کودهای مورد بررسی میزان جذب نیتروژن توسط گیاه افزایش یافته و به علت ارتباط مستقیم کاروتنوئید با غلظت نیتروژن، میزان صفت مزبور نیز بهبود یافته است. در آزمایشات انصاری و همکاران (۲۰۱۵)، محتوای کاروتنوئید در برگ‌های نخود(*Cicer arietinum*) با کاربرد کودهای زیستی بهبود یافت، به طوری که با کاربرد کود زیستی حاوی باکتری‌های حل کننده فسفات، میزان کاروتنوئید، ۱۳۳ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. ابوعلی و مادی (۲۰۰۹) نیز در بررسی تاثیر هیومیک اسید و کودهای زیستی بر گندم (*Triticum aestivum*)، به ترتیب در ۷۰ و ۱۰۰ امین روز بعد از کاشت شاهد افزایش ۳۱ و ۳۸/۲ درصدی کاروتنوئید در اثر کاربرد کودهای زیستی نسبت به شاهد بودند.

غلظت کلروفیل: تحت تاثیر تنش کمبود آب، میزان کلروفیل a حدود ۲۱ درصد کاهش یافت (شکل ۲). حداکثر غلظت کلروفیل a (۱/٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار تلفیقی کود آلی، زیستی و شیمیایی به دست آمد، که با تیمارهای کود کامل شیمیایی، فسفونیتروکارا+ ورمی‌کمپوست، ورمی‌کمپوست+ ٥٠٪ کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست اختلاف آماری نداشت (شکل ۲). تمامی تیمارهای کودی باعث افزایش معنی‌دار صفت مزبور در مقایسه با عدم مصرف کود شدند (شکل ۲).



شکل ۲- اثر سطوح آبیاری (الف) و تیمارهای کودی (ب) بر غلظت کلروفیل a

(I1: آبیاری بهینه، I2: تنش کم آبیاری، Ccf: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، 1/2cf: ۵۰ درصد کود شیمیایی، Na: عدم مصرف کود، V: ورمی‌کمپوست، P: فسفونیتروکارا)، (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند).

صرفنظر از نوع تیمارکودی، غلظت کلروفیل b در اثر کم آبیاری ۲۵/۳ درصد کاهش پیدا کرد. بیشترین و کمترین غلظت کلروفیل b به ترتیب با کاربرد کامل کود شیمیایی در آبیاری بهینه (۱/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و عدم مصرف کود در تنش کم آبیاری (۰/۲۸ میلی-گرم بر گرم وزن تر) به دست آمد (جدول ۳). تحت شرایط تنش، کاربرد همزمان ورمی‌کمپوست و نیمی از کود شیمیایی، بیشترین میزان کلروفیل b را به خود اختصاص داد، که حدود ٤/٥ برابر میزان این صفت در تیمار شاهد بود (جدول ۳). همچنین، در این شرایط بجز کاربرد جداگانه فسفونیتروکارا و نیمی از کود شیمیایی، سایر ترکیبات کودی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل b نسبت به عدم مصرف کود گردیدند (جدول ۳). در هر دو سطح آبیاری، تاثیر مثبت کاربرد کود آلی به تنهایی و یا همراه با کود زیستی و شیمیایی بر صفت مزبور، به وضوح مشاهده شد (جدول ۳).

ابراهیمی و همکاران (۲۰۱٤) نیز، کاهش میزان کلروفیل a، b در برگ آفتابگردان را در اثر کمبود آب گزارش کرده‌اند. کاهش میزان کلروفیل تحت شرایط کمبود آب می‌تواند به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و اختلال در سیستم‌های آنزیمی کاهش‌دهنده فعالیت رادیکال‌های آزاد باشد (سانتوز ۲۰۰٤). همچنین با افزایش مقدار تنظیم کننده‌های رشد مانند اتیلن و آبسیزیک اسید در اثر کمبود آب، فعالیت کلروفیلاز و پراکسیداز تحریک شده که منجر به تسریع تجزیه کلروفیل می‌گردد (کاوسوکسانگ ۲۰۱۱). از سویی دیگر در شرایط تنش کمبود آب، رقابت بین آنزیم‌های گلوتامیل کیناز و گلوتامات لیگاز بر سر گلوتامات که پیش ماده کلروفیل و پرولین است باعث می‌شود گلوتامات به مصرف پرولین رسیده و از بیوسنتز و در نتیجه محتوای کلروفیل کاسته شود.

لی و همکاران (۲۰۰٤) نیز به تخریب کلروفیل در برگ-های گیاه لوئی (*Typha latifolia*) تحت تنش رطوبتی اذعان داشتند. همچنین، آنان گزارش کردند که سرعت تخریب کلروفیل در حضور کودهای زیستی کاهش یافت. انصاری و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تاثیر٦ کود زیستی مختلف شامل باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفات بر گیاه نخود، مشاهده کردند که اکثر تیمارها منجر به بهبود محتوای کلروفیل شدند. همچنین نود روز پس از کاشت، بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار باکود زیستی شامل باکتری حل کننده فسفات با ۱۱۷ درصد افزایش در مقایسه با شاهد به دست آمد. علاوه براین، حداکثر میزان کلروفیل b در تیمار مزبور با ۱/۵ برابر افزایش نسبت به شاهد حاصل شد. ابوعلی و مادی (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که کلروفیل a در برگ-های گندم، در اثر تلقیح با کود زیستی در هفتادمین و صدمین روز پس از کاشت به ترتیب ۳۷/۱ و ۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. میزان کلروفیلb نیز در

تیمار کاربرد کود زیستی در روزهای مذکور به ترتیب ۳٦/٥ و ٦٤/۸ درصد بیشتر از شاهد بود. افزایش غلظت کلروفیل در اثر تلقیح باکتریایی در گیاهان دیگر از جمله آفتابگردان (ماریوس و همکاران ۲۰۰٥)، لوبیا (*Phaseolus coccineus* L.) (استفان و همکاران ۲۰۱۳) و ذرت (نوید و همکاران ۲۰۱٤) گزارش شده است. در تحقیق حاضر، به نظر می‌رسد که کاربرد کود آلی و زیستی با جلوگیری از آبشویی نیتروژن و تامین بیشتر آن (جهان و همکاران ۲۰۰۷ و وسی ۲۰۰۳)، تولید مواد محرک رشد، افزایش جمعیت میکروبی خاک و همچنین افزایش دسترسی و جذب کارآتر عناصر غذایی، منجر به افزایش سنتز و غلظت کلروفیل برگ شده‌اند.

تیمارهای کودی و آبیاری تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد پروتئین و روغن دانه آفتابگردان را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار دادند. همچنین، اثر برهمکنش تیمارهای آبیاری و کودی در تمامی صفات اجزاء عملکرد و عملکرد آفتابگردان به جز وزن هزار دانه، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ارزیابی شد (جدول ٤).

تعداد دانه در طبق: همان طور که ملاحظه می‌شود بیشترین تعداد دانه در طبق (۱٥۹۲ عدد) در کاربرد کامل کودهای شیمیایی تحت شرایط آبیاری بهینه به دست آمد (جدول ٥). همچنین، کمترین تعداد دانه در طبق با میانگین ٦۹۷/٦۷ عدد در کاربرد تنهای کود زیستی فسفونیتروکارا در شرایط کمبود آب مشاهده شد (جدول ٥). صرفنظر از ترکیبات کودی، تنش کمبود رطوبت منجر به کاهش ۲۳/۸ درصدی این صفت نسبت به شرایط آبیاری بهینه شد. به نظر می‌رسد که تحت شرایط تنش رطوبتی، علاوه بر کاهش منبع فتوسنتزی، قدرت مخزن نیز در جذب مواد فتوسنتزی کم شده وتعداد زیادی ازگلچه‌های باروروسلول‌های زایشی آسیب دیده و از تعداد آن‌ها کاسته می‌شود، در چنین شرایطی تعداد دانه کاهش پیدا می‌کند.

در سطح آبیاری بهینه، از نظر صفت مذکور تیمارهای فسفونیتروکارا+ ورمی‌کمپوست+ ۱/۲ کودهای شیمیایی و فسفونیتروکارا با شاهد عدم مصرف کود اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ٥). بیشترین تعداد دانه در طبق در تنش کمبود آب، به کاربرد نیمی از کودهای شیمیایی، با ۲٤/۲ درصد افزایش نسبت به شاهد عدم مصرف کود اختصاص پیدا کرد. هر چند که با تیمارهای کاربرد کامل کودهای شیمیایی، ورمی‌کمپوست+ ۱/۲ کودهای شیمیایی و ورمی‌کمپوست در یک سطح آماری قرار گرفت (جدول ٥). در آزمایشات غلامحسینی و همکاران (۲۰۰۷) نیز، بیشترین تعداد دانه در طبق آفتابگردان در کاربرد میزان کاهش یافته کود شیمیایی به همراه کود آلی به دست آمد، آنچنان که ۲۲/۸ درصد بیشتر از کاربرد کامل کودهای شیمیایی بود.در آزمایش حاضر نیز احتمال می‌رود که میکروارگانیسم‌های موجود در کود زیستی و ورمی‌کمپوست با فراهمی مطلوب فسفر به باروری و تلقیح گل‌ها کمک کرده است، و همچنین با تامین نیتروژن برای گیاه با افزایش و حفظ طولانی‌تر سطح سبز فتوسنتز کننده باعث افزایش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی و در نتیجه تولید تعداد دانه بیشتری در طبق گردیده است.

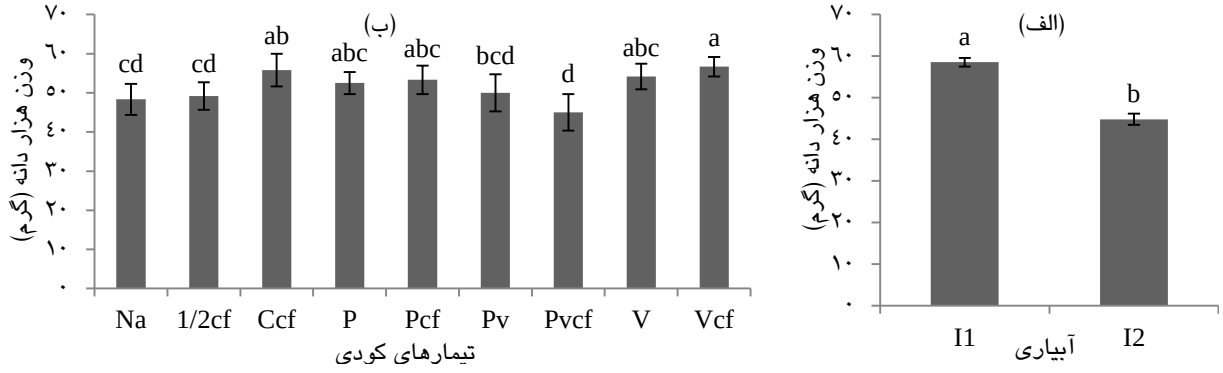
وزن هزار دانه: کمبود آب وزن هزار دانه آفتابگردان را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد. آنچنان که در شرایط تنش کمبود آب، میزان این صفت ۲۳/٤ درصد کمتر از تیمار آبیاری بهینه بود (شکل ۳، الف). افزایش وزن دانه مربوط به شرایط محیطی در زمان پر شدن دانه است، و کاهش رطوبت در این زمان احتمالاً به علت محدود بودن انتقال مجدد در تیمارهای تحت تنش، منجر به کاهش وزن هزاردانه می‌گردد. آرائوس و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش کردند که کمبود رطوبت خاک درطول دوره رشد به ویژه درمرحله زایشی با کاهش سرعت و طول دوره پر شدن دانه، منجر به کاهش وزن دانه می-شود.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان تحت تاثیر سطوح آبیاری و تیمارهای کودی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد پروتئین	عملکرد روغن
تکرار	۲	۱۱۷۱۹٤/۳^{ns}	۱۱/۷۲^{ns}	۱۷۸۵۹۸/۲۳^{ns}	۱۷۰۸۸۹۷/۸^{ns}	٤۹۵۰/۵۸^{ns}	۱۹۱٤٤۰/۷۱^{ns}
آبیاری	۱	۱۰۰۸۰۵۳/٤۱*	۲۵۳۵/۱۸**	۳۱۰۱۲۰۵۵/٦۷**	۱۵۸۸۸۲۱٦٦/۸**	٦۱۲٦۱۱/۳۸**	۸۲٤۳٦۲۹/۹۱*
خطای a	۲	۱۳۱۷٦/۵۲	۰/۸	۸۳۵۳۵/٤۵	۱٤٦۲۷۳۱/۷	۲۵۷۷/٦٦	۱۵۰۳۷۹/۵۹
کود	۸	۱۲۵۹۷۸/۹۲**	۸۷/۵*	۱٤۸۸۹٦٤/۱**	۱۳۷۱۵۵٤۷/۷**	٦۸۳۲٦/۳۹**	۳٤٤۸۳۰/۳۳**
کود × آبیاری	۸	۵۹٦۹۱/٤۵**	٤۱/٤۳^{ns}	۸۳۱٤۱۲/۲۸**	۵۳۱۰۵۸٦**	۲۹٤۱۷/٤۹**	۱۷۰۳٦۰/٤۷**
خطای b	۳۲	۹۱۳۵/۳٤	۲۹/۷	۸۲۹۵٤	۱٤۲٦۱۸٦/۳	۲۵۳٦/۸۳	۲۹۷۵۷/۱٤
ضریب تغییرات (٪)		۹/٤٦	۱۰/۵٤	۸/۲	۱۰/۳	۸/۹	۱۰/۵۵

ns، * و **به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

بررسی مقایسه میانگین سیستم‌های مختلف تغذیه-ای، نشان داد که تنها، تیمارهای ورمی‌کمپوست+ نیمی از کودهای شیمیایی و کاربرد کامل کودهای شیمیایی به ترتیب باعث باعث افزایش معنی‌دار ۱۷/۲ و ۱۵/۵ درصدی ورن هزار دانه آفتابگردان در مقایسه با شاهد عدم مصرف کود شد (شکل ۳، ب). سایر ترکیبات کودی به کار رفته از لحاظ وزن هزار دانه با شاهد عدم مصرف کود در یک سطح آماری قرار گرفتند. در آزمایشات مقصودی و همکاران (۲۰۱۵) نیز، کاربرد کود آلی به همراه کود شیمیایی باعث افزایش وزن هزار دانه ذرت شد. در صورت تامین کافی عناصرغذایی، گیاه می‌تواند با افزایش رشد رویشی و تولید مواد فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به دانه منجر به افزایش وزن دانه گیاه شود. بنابراین، با توجه به یافته‌های آزمایش می‌توان اظهارداشت که، افزایش حاصل در این صفت ممکن است به علت شاخص سطح برگ، تولید وانتقال ماده فتوسنتزی بیشتر به دانه و همچنین بهبود باروری خاک و تامین مطلوب عناصر غذایی بویژه رهاسازی نیتروژن و فسفر ازکود آلی در مرحله پرشدن دانه باشد.



شکل ۳- اثر سطوح آبیاری (الف) و تیمارهای کودی (ب) بر وزن هزار دانه آفتابگردان

(I1: آبیاری بهینه، I2: تنش کم آبیاری، Ccf: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، 1/2cf: ۵۰ درصدکود شیمیایی، Na: عدم مصرف کود، V: ورمی‌کمپوست، P: فسفونیتروکارا)، (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند).

عملکرد دانه: بیشترین (۵۹۳۶/۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۹۶۶/۷ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد دانه به ترتیب با کاربرد کامل کود شیمیایی در آبیاری بهینه و عدم مصرف کود تحت شرایط تنش کمبود آب به دست آمد (جدول ۵). به طور کلی، تنش کم آبیاری منجر به افت عملکرد دانه آفتابگردان شد. همان طور که پیش‌تر بیان شد با کاهش شاخص سطح برگ به عنوان اندام اصلی فتوسنتز کننده و افت دوام آن و همچنین کاهش غلظت کلروفیل در اثر تنش کمبود آب، نور دریافتی و فتوسنتز کاهش یافته و در نتیجه به علت عدم تامین مواد فتوسنتزی لازم برای تشکیل و پر کردن دانه‌ها، تعداد و وزن انه‌ها کاهش یافته که در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه شده است. مقایسه میانگین عملکرد دانه نشان داد که علاوه بر کودهای شیمیایی، کاربرد کودهای زیستی و آلی نسبت به شاهد، عملکرد دانه را به طور معنی‌داری افزایش دادند (جدول ۵).

در هر دو سطح آبیاری، کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی و آلی با یکدیگر و در کنار کودهای شیمیایی در مقایسه با کاربرد جداگانه آن‌ها، اثرات مثبت بیشتری را بر عملکرد دانه به همراه داشت. به طوری که بیشترین عملکرد دانه تحت تنش کم آبیاری، در نتیجه کاربرد هم-زمان ورمی کمپوست+ ۱/۲ کود شیمیایی به دست آمد، که به ترتیب حدود ٦۵/٤ و ۲۲/٦ درصد بیشتر از عملکرد دانه در عدم مصرف و کاربرد کامل کود شیمیایی بود (جدول ۵).از آنجا که فرآیند رشد گیاه به میزان زیادی به محتوای رطوبت خاک وابسته است، احتمال می‌رود که کود آلی ورمی‌کمپوست توانسته از یک سو با افزایش ظرفیت نگهداری آب، و از سویی دیگر با آزادسازی و تامین مطلوب عناصر غذایی موجود در خاک، باعث بهبود عملکرد دانه گردد.

آرانکون و همکاران (۲۰۰٤) تاثیر مثبت ورمی-کمپوست را به افزایش جمعیت میکروبی خاک و تولید مواد محرک رشد مانند هورمون‌های گیاهی توسط آن‌ها که ناشی از فعالیت کرم‌های خاکی در ورمی‌کمپوست است، نسبت دادند. روئستی و همکاران (۲۰۰٦) نیز افزایش عملکرد گندم توسط کود ورمی‌کمپوست را به علت جلوگیری از آبشویی نیتروژن، افزایش فعالیت بیولوژیک و بهبود ساختمان خاک بیان کردند. همچنین، آنان افزایش عملکرد در اثر استفاده از کود زیستی را ناشی از وجود جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید در خاک یا ریزوسفر بر اثر تلقیح با کود زیستی دانسته که به نوبه خود باعث چرخه مطلوب عناصر غذایی و قابل دسترس ساختن آن‌ها، افزایش و حفظ سلامتی ریشه در رقابت با عوامل بیماری‌زای گیاهی ریشه و افزایش جذب مواد غذایی می‌شوند. جلیلیان و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی پیامدهای تلقیح باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن به همراه کود نیتروژن بر آفتابگردان تحت رژیم‌های گوناگون آبیاری، پی بردند که عملکرد دانه آفتابگردان با کاربرد هم‌زمان کود نیتروژن و باکتری‌های فوق‌الذکر، بهبود پیدا می‌کند. در آزمایشات کومار و همکاران (۲۰۰۹) نیز بیشترین میزان عملکرد دانه کنجد با ۵۳ درصد افزایش نسبت به شاهد، با کاربرد هم‌زمان باکتری سودوموناس آئروژینوزا و کود شیمیایی به دست آمد. استفان و همکاران (۲۰۱٤) نیز افزایش ۲۷/۵۸ درصدی عملکرد لوبیا را در تلقیح با باکتری حل کننده فسفات گزارش کردند. طبق نظر مولکی و همکاران (۲۰۰٤) افزایش عملکرد در سیستم‌های تلفیق یرا می‌توان ناشی از مطابقت بیشتر بین نیتروژن قابل دسترس خاک با نیازهای گیاه دانست به طوری که در اوایل رشد که نیاز غذایی کم است، میزان نیتروژن معدنی آن‌ها کمتر از کود شیمیایی است، ولی در مراحل رشد زایشی به علت تداوم فرایند معدنی شدن، جذب تا مدت زمان طولانی‌تری ادامه پیدا می‌کند. بنابراین، به نظر می‌رسد که کاربرد تلفیقی کود شیمیایی، زیستی و آلی با آزادسازی و تامین مطلوب عناصر، برقراری تعادل در جذب عناصر، جلوگیری از آبشویی و هدر روی عناصر غذایی، افزایش ظرفیت

نگهداری آب، افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و تولید مواد محرک رشد موجب بهبود رشد، آسیمیلاسیون و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌گردد. با توجه به مقایسات میانگین عملکرد دانه در کودهای زیستی و شیمیایی، می‌توان اظهار داشت که کودهای زیستی و آلی به تنهایی قادر به تامین کلیه نیازهای گیاه زراعی نبوده اما در تلفیق با یکدیگر و درکنار کودهای شیمیایی می‌توانند بخش زیادی از نیازهای غذایی آفتابگردان را برطرف کرده و از طرفی کاربرد آن‌ها می‌تواند میزان مصرف کودهای شیمیایی را کاهش دهد.

جدول ۵- میانگین صفات مورد مطالعه آفتابگردان تحت تاثیر سطوح آبیاری در تیمارهای کودی

آبیاری	کود	تعداد دانه در طبق	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد پروتئین ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد روغن ($kg.ha^{-1}$)
آبیاری بهینه	عدم مصرف کود	۸۷۷^{ghij}	۳۱۰۶/۷^{fg}	۱۰۳۴۳/۷^{efg}	۴۰۷/۸۳^{fg}	۱۴۳۷/۱^{de}
	کود کامل شیمیایی	۱۵۹۲^{a}	۵۹۳۶/۷^{a}	۱۶۰۸۰/۲^{a}	۹۷۶/۴۸^{a}	۲۷۶۷/۶^{a}
	۱/۲ کود شیمیایی	۱۰۳۶^{def}	۴۳۳۶/۷^{bc}	۱۲۸۳۷^{bcd}	۶۹۸/۳^{b}	۲۰۶۱/۱^{b}
	فسفونیتروکارا	۹۶۷^{efgh}	۳۹۵۰^{cd}	۱۱۶۴۸/۵^{cde}	۵۸۹/۵۵^{c}	۱۸۹۸/۸^{bc}
	P+V	۱۱۳۱/۳۳^{cd}	۳۹۰۳^{cd}	۱۴۴۱۷/۴^{ab}	۵۹۴/۸۶^{c}	۱۸۹۲/۵^{bc}
	P+1/2cf	۱۱۱۴/۳۳^{de}	۴۴۸۳/۳^{b}	۱۴۸۰۷/۳^{ab}	۷۴۲/۰۱^{b}	۲۰۴۲/۲^{b}
	P+V+1/2cf	۱۰۱۷^{defg}	۴۵۳۶/۷^{b}	۱۴۰۹۳^{b}	۷۶۲/۶۴^{b}	۲۰۸۴/۳^{b}
	ورمی کمپوست	۱۳۷۱/۳۳^{b}	۳۶۳۶/۷^{de}	۱۱۴۵۲/۸^{def}	۵۳۷/۸۱^{cde}	۱۹۰۱^{bc}
	V+1/2cf	۱۲۱۷/۳۳^{bc}	۴۴۴۳/۳^{b}	۱۳۵۸۷/۴^{bc}	۷۲۰/۰۷^{b}	۲۱۵۳^{b}
کم آبیاری	عدم مصرف کود	۷۹۶^{ijk}	۱۹۶۶/۷^{i}	۶۵۵۴/۲^{h}	۳۰۰/۰۱^{h}	۸۲۵/۴^{g}
	کود کامل شیمیایی	۹۰۹/۳۳^{fghij}	۲۶۵۳/۳^{gh}	۸۶۶۷/۴^{g}	۴۵۷/۵۱^{efg}	۱۱۷۰/۹^{ef}
	۱/۲ کود شیمیایی	۱۰۵۰/۳۳^{def}	۲۵۱۶/۷^{h}	۹۹۶۹/۴^{efg}	۴۰۰/۳۱^{fg}	۱۱۵۵/۷^{ef}
	فسفونیتروکارا	۶۹۷/۶۷^{k}	۲۴۷۰^{h}	۸۳۶۴/۶^{gh}	۳۹۰/۷۱^{g}	۱۱۰۰^{fg}
	P+V	۸۵۲/۶۷^{hijk}	۲۹۱۶/۷^{fgh}	۱۱۱۵۷/۹^{def}	۵۰۰/۷۴^{de}	۱۴۱۸/۷^{de}
	P+1/2cf	۷۹۲^{jk}	۳۲۰۶/۷^{ef}	۱۱۸۲۶/۳^{cde}	۵۲۸/۰۶^{cde}	۱۴۱۰/۶^{de}
	P+V+1/2cf	۸۰۴^{ijk}	۲۸۲۰^{fgh}	۹۵۱۶/۵^{fg}	۴۹۴/۶۶^{de}	۱۲۴۸/۲^{ef}
	ورمی کمپوست	۹۵۳/۶۷^{fghi}	۲۸۹۰/۳^{fgh}	۱۱۰۵۳^{def}	۴۸۳/۴^{def}	۱۲۵۸/۸^{ef}
	V+1/2cf	۱۰۰۸/۳۳^{defgh}	۳۲۵۲/۲^{ef}	۱۱۲۸۲/۸^{def}	۵۵۶/۹۵^{cd}	۱۶۱۶/۶^{cd}

1/2cf: ۵۰ درصدکودهای شیمیایی پیشنهاد شده، V: ورمی کمپوست، P: فسفونیتروکارا. (در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند.)

عملکرد بیولوژیک: بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۶۰۸۰/۲ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری بهینه و در تیمار کاربرد کامل کود شیمیایی توصیه شده به دست آمد، هرچند که اختلاف آماری با تیمارهای فسفونیتروکارا+ ورمی‌کمپوست و فسفونیتروکارا+ ۱/۲ کود شیمیایی در شرایط عدم تنش نداشت (جدول ۵). همچنین کمترین عملکرد بیولوژیک (۶۵۵۴/۲ کیلوگرم در هکتار) درتیمار عدم مصرف کود و تنش کم آبیاری مشاهده شد (جدول ۵). تحت تنش کم آبیاری، کاربرد هم‌زمان فسفونیتروکارا+۱/۲ میزان کود شیمیایی، بیشترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص داد، که حدود ۱/۸ برابر مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار شاهد بود (جدول ۵). تاثیر مثبت ورمی‌کمپوست به تنهایی و یا در ترکیب با کود زیستی و شیمیایی در آبیاری کم بارزتر از اثرات این کود در شرایط آبیاری بهینه بود (جدول ۵). همان طور که پیش‌تر بیان شد پارامترهای رشدی آفتابگردان مانند

حداکثر شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و تجمع ماده خشک تحت تاثیر کودهای زیستی و آلی افزایش معنی‌داری یافته است، و با توجه به اینکه میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آن به مواد فتوسنتزی از عوامل موثر بر رشد و تولید گیاهی است، افزایش سطح برگ در مزرعه دراثر کاربرد کودهای مورد بررسی،باعث افزایش میزان جذب نور، افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نهایت افزایش تولید ماده خشک و عملکرد بیولوژیک شده است. جلیلیان و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که در همه رژیم‌های آبیاری، بیشترین عملکرد بیولوژیک آفتابگردان با کاربرد میکروارگانیسم-های مفید به همراه کود شیمیایی به دست آمد. در مطالعات پیرسته انوشه و همکاران (۲۰۱۰) نیز حداکثر عملکرد بیولوژیک آفتابگردان در شرایط عدم تنش یا تنش ملایم کمبود آب، در تیمار کودهای شیمیایی بود، ولی در تیمارهایی که تنش بیشتری اعمال شده بود، عملکرد بیولوژیک در حضور کود زیستی بیشتر بود. آن‌ها علت این امر را حفظ رطوبت و بهبود شرایط فیزیکی خاک به علت توانایی بالای سوپرجاذب استفاده شده در نگهداری آب دانستند. محققین بسیاری تاثیر مثبت کودهای زیستی بر عملکرد بیولوژیک را گزارش کرده‌اند (احمد و همکاران ۲۰۱۰، جهان و همکاران ۲۰۱۳ و وانگ و همکاران ۲۰۱۵).

عملکرد پروتئین: با توجه به این که بیشترین میزان عملکرد دانه با کاربرد کامل کود شیمیایی در شرایط آبیاری بهینه به دست آمد، حداکثر عملکرد پروتئین (۹۷۶/۴۸ کیلوگرم در هکتار) نیز در این تیمار حاصل شد که ۲/٤ برابر شاهد بود (جدول ۵). در هر دو سطح آبیاری، کودهای به کار رفته در مقایسه با شاهد، منجر به افزایش معنی‌دار صفت مزبور شدند. تحت شرایط تنش، بیشترین افزایش عملکرد پروتئین در مقایسه با شاهد متعلق به تیمار کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست+ ۱/۲کود شیمیایی توصیه شده بود (جدول ۵). یکی از نقش‌های مهم نیتروژن در گیاهان، مشارکت در تولید پروتئین است. به نظر می‌رسد تیمارهای کودی به کار رفته توانسته‌اند شرایط مطلوبی را در جهت جذب نیتروژن خاک و افزایش میزان ذخیره آن در دانه فراهم کنند. کومار و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که تلقیح باکتریایی بذور کنجد به همراه نیمی از کود شیمیایی توصیه شده در مقایسه با عدم تلقیح، عملکرد پروتئین را ٤۷/۵ درصد افزایش داد.

عملکرد روغن: تیمارهای کودی به دلیل تاثیر مثبت بر عملکرد دانه، عملکرد روغن را نیز افزایش دادند. بیشترین عملکرد روغن (۲۷٦۷ کیلوگرم در هکتار) با توجه به حداکثر بودن عملکرد دانه در تیمار کود شیمیایی، مشاهده شد (جدول ۵). کمترین عملکرد روغن نیز در اثر عدم مصرف کود در تنش کم آبیاری حاصل شد که با سایر تیمارها اختلاف چشمگیری داشت (جدول ۵). هر چند اختلاف آماری بین عملکرد روغن در کاربرد جداگانه ورمی‌کمپوست و فسفو نیتروکارا مشاهده نشد، اما اثر هم‌افزایی ورمی‌کمپوست به همراه ۱/۲ کود شیمیایی در هر دو سطح آبیاری، بیشتر از فسفونیتروکارا+ ۱/۲ کود شیمیایی بود. همچنین، تحت شرایط تنش نسبت به عدم تنش، اثرات مثبت ورمی‌کمپوست بر عملکرد روغن بیشتر بود. آنچنان که حداکثر صفت مزبور تحت شرایط آبیاری کم در تیمار ورمی‌کمپوست+ ۱/۲ کود شیمیایی به میزان ۱٦۱٦/٦ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۵). .جلیلیان و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که کمترین میزان عملکرد روغن آفتابگردان در بالاترین سطح تنش کمبود آب مشاهده شد. با این وجود کاربرد باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، غلظت و عملکرد روغن را به ویژه در گیاهان در معرض تنش بهبود بخشید. همچنین تلقیح باکتریایی بذور کنجد به همراه نیمی از کود شیمیایی، عملکرد روغن را از ۲۱۵ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد، به ٤۹٦ کیلوگرم در هکتارافزایش داد (کومار و همکاران ۲۰۰۹).

به طور کلی نتایج نشان داد که تلقیح بذور آفتابگردان با کود زیستی فسفونیتروکارا و کاربرد ورمی‌کمپوست همراه با کود شیمیایی از طریق افزایش شاخص‌های

رشدی مانند شاخص سطح برگ و دوام آن، افزایش غلظت کلروفیل و کاروتنوئید باعث بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه شده و درنهایت افزایش عملکرد اقتصادی را به ویژه تحت شرایط کمبود آب به همراه داشته است. بنابراین می‌توان اظهار داشت که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی، آلی و شیمیایی می‌تواند با حفظ اهداف کشاورزی پایدار، از طریق کاهش مصرف کودهای شیمیایی، باعث بهبود تولید آفتابگردان گردد.

منابع مورد استفاده

Abou-Aly HE and Mady MA, 2009. Complemented effect of humicacid and biofertilizers on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity. Annals of Agricultural Sciences, 47(1):1-12.

Ahmad AG, Orabi S and Gaballah A, 2010. Effect of Bio-N-P fertilizer on the growth, yield and some biochemical component of two sunflower cultivars. International Journal of Academic Research, 4(2): 271-277.

Allen RG, Pereira, LS, Raes D and Smith M, 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No, 56. FAO, Rome.

Ansari MF, Tipre DR and Dave SR, 2015. Efficiency evaluation of commercial liquid biofertilizers for growth of *Cicer aeritinum* (chickpea) in pot and field study. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 4(1): 17-24.

Arancon NQ, Edwards CA, Bierman P, Welch C and Metzger JD, 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology, 93: 145-153.

Araus LA, Slafer GA, Reynolds MP and Royo C, 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? Annals of Botany, 89: 925-940.

Araus JL, Bort J, Steduto P, Villegase D and Royo C, 2003. Breeding cereals for Mediterranean conditions: ecophysiological clues for biotechnology application. Annals of Applied Biology, 142:129-141.

Arnon D I, 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24: 1-15.

Banerjee A, Datta JK and Mondal NK, 2012. Biochemical changes in leaves of mustard under the influence of different fertilizers and cycocel. Journal of Agricaltuer and Technology, 8(4): 1397-1411.

Chimenti CA, Pearson J and Hall AJ, 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. Field Crops Research, 75: 235-246.

Daverede IC, Kravchenko AN, Hoeft RG, Nafziger ED, Bullock DG, Warren JJ and Gonzini LC, 2004. Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquid swine manure and phosphorus fertilizer. Journal Environmental Quality, 33: 1535-1544.

Doorenbos J and Kassam A H, 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. FAO, Rome, Italy Pp. 181.

Ebrahimia M, Khajehpour MR, Naderi A and Majde Nassiri B, 2014. Physiological responses of sunflower to water stress under different levels of zinc fertilizer. International Journal of Plant Production, 8(4): 483-504.

FAO, 2013. Available at: www.faostat3.fao.org/download/Q/QC/E.

Gholamhoseini M, Ghalavand A. Modarres-Sanavi AM and Jamshidi A. 2007. Effect of zeolite compost application in loamy sand field in grain yield and other traits of sunflower. Environmental Science. 5(1): 23-36. (In Persian).

Jahan M, Koocheki A and Nassiri Mahallati, M. 2007. The effects of arbuscular mycorrhizal fungus and free living nitrogen fixing bacteria on growth, photosynthesis and yield of corn (*Zea mays* L.) in conventional and ecological cropping systems. Iranian Journal of Field Crops Research. 5(1): 53-69. (In Persian).

Jahan M, Nassiri Mahallati M, Amiri MB and Ehyayi HR, 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. Industrial Crops and Products, 43: 606- 611.

Jalilian J, Modarres-Sanavya SAM, Saberalia SF and Sadat-Asilan K, 2012. Effects of the combination of beneficial microbes and nitrogen on sunflower seed yields and seed quality traits under different irrigation regimes. Field Crops Research, 127: 26-34.

Kaewsuksaeng S, 2011. Chlorophyll degradation in horticultural crops. Walailak Journal of Science and Technology, 8: 9-19.

Karam F, Lahoud R, Masaad R, Kabalan R, Breidi J, Chalita C and Rouphael Y, 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. Agricultural Water Management, 90: 213-223.

Kennedy IR, Choudhury ATMA and Kecskes ML, 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? Soil Biology and Biochemistry, 36: 1229-1244.

Koocheki A and Sarmadnia G, 1999. Physiology of crop plant. Publication of Jahad Daneshgahi of Mashhad. (In Persian).

Kumar S, Pandey P and Maheshwari DK, 2009. Reduction in dose of chemical fertilizers and growth enhancement of sesame (*Sesamum indicum* L.) with application of rhizospheric competent *Pseudomonas aeruginosa* LES4. European Journal of Soil Biology,45: 334-340.

Li S, Pezeshki SR and Goodwin S, 2004. Effects of soil moisture regimes on photosynthesis and growth in catail (*Typha latifolia*). Acta Oecologica, 25: 17-22.

Maghsoudi E, Ghalavand A and Aghaalikhani M. 2015.Effect of plant growth promoting rhizobacteria and integration of chemical and organic fertilizers on yield and yield components of Corn (s.c. 704). Plant Production Thechnology. 7(1): 179-191. (In Persian).

Marius S, Octavita A, Eugen U and Vlad A, 2005. Study of a microbial inoculation on several biochemical indices in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Pakistanian Journal of Biological Science, 6(6): 539-543.

Mooleki SP, Schoenau JJ, Charles JL and Wen G, 2004. Effect of rat, frequency and incorporation of feedlot cattle manure on soil nitrogen availability crop performance and nitrogen use efficiency in east-central Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science, 84: 199-210.

Naveed M, Mitter B, Reichenauer TG, Wieczorek K and Sessitsch A, 2014. Increased drought stress resilience of maize through endophytic colonization by *Burkholderia phytofirmans* PsJN and Enterobacter sp. FD17. Environmental and Experimental Botany, 97: 30-39.

Pirasteh Anousheh H, Imam Y and Jamali Ramin F. 2010. Comparative effect of biofertilizers with chemical fertilizers on sunflower(*Helianthus annuus* L.) growth, yield and oil percentage in different drought stress levels. Journal of Agroecology. 2(3): 492-501. (In Persian).

Renato Y, Ferreira ME, Cruz MC and Barbosa JC, 2003. Organic matter fractions and soil fertility under influence of liming, vermicopmpost and cattle manure. Bioresource Technology, 60: 59-63.

Roesti D, Gaur R, Johri BN, Imfeld G, Sharma S, Kawaljeet K and Aragno M, 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio inoculation of *Arbuscular mycorrhizal* fungi and plant growth promoting Rhizobacteria affect the Rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. Soil Biology and Biochemistry, 38: 1111-1120.

Sanchez L, Dıez JA, Vallejo A and Cartagena MC, 2001. Denitrification losses from irrigated crops in central Spain. Soil Biology and Biochemistry, 33: 1201-1209.

Santos C, 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. Scienta Horticulture, 103: 93-99.

Seyed Sharifi R, 2011. Study of grain yield and some of physiological growth indices in maize (*Zea mays* L.) hybrids under seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). Journal of Food, Agriculture and Environment, 10 (3-4): 630-635.

Stefan M, Munteanu N, Stoleru V, Mihasan M and Hritcu L, 2013. Seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria enhances photosynthesis and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). Scientia Horticulturae, 151: 22-29.

Subramanian KS, Santhanakrishnan P and Balasubramanian P, 2006. Responses of field grown tomato plants to *arbuscular mycorrhizal* fungal colonization under varying intensities of drought stress. Scientia Horticulture, 107: 245-253.

Vessey JK, 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as bio-fertilizer. Plant and Soil 255: 571-586.

Wang WX, Vinocur Band Altman A, 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta, 218: 1-14.

Wang B, Mei C and Seiler JR, 2015. Early growth promotion and leaf level physiology changes in *Burkholderia phytofirmans* strain PsJN inoculated switchgrass. Plant Physiology and Biochemistry, 86:16-23.

Yasari E and Patwardhan AM, 2007. Effects of *Azotobacter* and *Azospirillum* inoculation and chemical fertilizers on growth and productivity of canola. Asian Journal of Plant Science, 6: 77-82.