به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۳ ■ شماره ٤ ■ زمستان ١٤٠٠
صفحه‌های ۷۱۲-۶۹۹
DOI: 10.22059/jci.2021.308259.2452

**مقاله پژوهشی:**

# ارزیابی کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت با لوبیا تحت تأثیر کودهای زیستی و آلی

رضا فاطمی دوین[1*]، سید محمد باقر حسینی[2]، حسین مقدم[3]، بابک متشرع‌زاده[4]
۱. دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۴. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۶/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۸/۱۴

## چکیده
به‌منظور بررسی اثر کودهای زیستی و آلی بر کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت با لوبیا، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار اجرا شد. کرت‌های اصلی دربرگیرنده سیستم‌های مختلف کودی در چهار سطح شامل ۳۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ازتوباکتر، ورمی‌کمپوست، ازتوباکتر+ ورمی‌کمپوست و کرت‌های فرعی دربرگیرنده ترکیب‌های کشت ذرت خالص، لوبیا خالص،۵۰ درصد ذرت+ ۵۰ درصد لوبیاچیتی، ٦۰ درصد ذرت+ ٦۰ درصد لوبیاچیتی و ۸۰ درصد ذرت+ ۸۰ درصد لوبیاچیتی بودند. نتایج نشان داد شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک و کارایی مصرف نور ذرت به‌طور معنی‌داری بالاتر از کشت خالص بود. بیش‌ترین کارایی مصرف نور مربوط به کابرد تلفیقی ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست در کشت مخلوط ۸۰ درصد ذرت+ ۸۰ درصد لوبیا چیتی با میانگین ۲/۲۹ گرم بر مگاژول بود که نسبت به تیمار ۳۰ کیلوگرم در هکتار کشت خالص، کارایی مصرف نور ٦۳ درصد افزایش یافت. هم‌چنین بالاترین ماده خشک مربوط به کشت مخلوط ٦۰ درصد ذرت+ ٦۰ درصد لوبیا چیتی به مقدار ۱۷۲۸ گرم بر مترمربع حاصل شد که نسبت به کشت خالص، تجمع ماده خشک را ١٦ درصد افزایش داد. در مجموع ترکیب توام کود آلی و زیستی در کشت مخلوط توانایی رقابت با کود شیمیایی اوره از لحاظ شاخص‌های مکانیستیک آنالیز رشد گیاه را دارا است.

**کلیدواژه‌ها:** ازتوباکتر، ورمی‌کمپوست، راندمان جذب نور، تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ.

# Evaluation of Light Consumption Efficiency in a Mixture of Maize and Beans Cultivation under the Influence of Biologic and Organic Fertilizers

Raze Fatemi Devin[1*], Seyed Mohamad Bagher Hoseini[2], Hosain Moghadam[3], Babak Motasharezadeh[4]
1.Former Ph.D. Student, Departmant of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Associate Professor, Departmant of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Assistant Professor, Departmant of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4.Associate Professor of Soil Science University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
Received: September 17, 2020 Accepted: November 4, 2020

**Abstract**
In order to investigate the effect(s) of biologic and organic fertilizers on light consumption efficiency in growing maize-bean mixture, an experiment has been conducted in the form of split plots in a randomized complete block design with 12 treatments. Main plots, containing different fertilizer systems in four levels, include 30 kg/ha urea, Azotobacter, vermicompost, and Azotobacter + vermicompost, and the subplots contain cultivation compound of pure maize and pure bean being 50% maize + 50% bean, 60% maize + 60% pinto bean, and 80% maize + 80% pinto bean. Results show that leaf area index, dry matter accumulation, and light consumption efficiency of maize have been significantly higher than pure culture. The highest light use efficiency is related to the combined use of Azotobacter and vermicompost in mixed culture of 80% maize + 80% pinto beans with an average of 2.29 g / MJ, which increase light use efficiency by 63%, compared to 30 kg/ha of pure culture. Also, the highest dry matter, related to the mixed culture of 60% maize + 60% pinto beans, belongs to the amount of 1728 g/m2, which increase the dry matter accumulation by 16%, compared to pure culture. In general, the combined composition of organic and biologic fertilizers in intercropping has the ability to compete with urea chemical fertilizer in terms of mechanistic indicators of plant growth analysis.

**Keywords:** Azotobacter, vermicompost, light absorption efficiency, dry matter accumulation, leaf area index.

* نویسنده مسئول Email: raze.fatemi@ut.ac.ir

## ۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، در کشور ما استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و توجه‌نکردن به اهمیت و اثرات مثبت مواد آلی در بهبود حاصلخیزی خاک‌های زراعی، باعث افزایش مصرف کودهای شیمیایی، آلودگی‌های محیطی و صدمات اکولوژیکی شده است (Montazeri & malekoti, 2003). این امر موجب کاهش کیفیت تولیدات کشاورزی و از بین رفتن منابع تجدیدناپذیر شده است، بنابراین برای کاهش این خطرات باید نهاده‌هایی استفاده کرد که علاوه بر افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی، بهبود شرایط فیزیکی و میکروبی خاک را نیز به‌دنبال داشته باشد (Renato *et al*., 2003) کشاورزی پایدار، سودمندترین نحوه استفاده از انرژی خورشیدی و تبدیل آن به محصولات کشاورزی است که بدون تخریب خاک، آب و محیط‌زیست انجام می‌گیرد (Erol *et al*., 2009; Barker *et al*., 2006).

از بین راه‌کارهای موردنظر در کشاورزی پایدار می‌توان به سیستم‌های کشت مخلوط، تناوب زراعی و مصرف کودهای زیستی و آلی اشاره نمود (Sullivan, 2003). کشت مخلوط یک روش مناسب برای افزایش استفاده بهینه از نور خورشید می‌باشد به‌علاوه بسیاری از مطالعات مبنی بر افزایش استفاده از انرژی خورشیدی در کانوپی کشت مخلوط انجام گرفته است (Black & Ong, 2000; Tsubo *et al*., 2002). در کشت مخلوط استفاده ترکیبی از گیاهان مختلف به شکل هندسی کانوپی این گیاهان بسیار وابسته بوده و علاوه بر آن شرایط محیطی، مدیریت، طول دوره رشد گیاه، مسائل اقتصادی و ثبات و پایداری نیز مؤثر می‌باشد (Connolly *et al*., 2001). افزایش عملکرد اقتصادی و رشد رویشی ذرت با استفاده از کودهای زیستی توام با شیمیایی در کشت مخلوط ذرت و لگوم مشاهد شده است (Saleem *et al*., 2011). در مطالعه دیگری روی کشت مخلوط ذرت و سویا (*Glycine max* L.) مشخص شد که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی ضمن افزایش عملکرد دو گونه، مصرف کودهای شیمیایی را نیز کاهش داد (Muyayabantu *et al*., 2013).

در شرایط مطلوب زراعی که هیچ عامل محدودکننده دیگری وجود ندارد بین وزن خشک تولیدی با میزان نور جذب‌شده، به‌ویژه تابش فعال فتوسنتزی[1] (PAR) جذب‌شده یک رابطه خطی وجود دارد (Alizadeh *et al*., 2010) و کارایی مصرف نور به‌صورت شیب‌خط رگرسیونی برازش یافته به داده‌های تغییرات ماده خشک تجمعی طی فصل رشد (به‌عنوان متغیر وابسته) و تابش تجمعی جذب‌شده توسط گیاه (به‌عنوان متغیر مستقل) تعریف می‌شود (Keating & Carberry, 1993). در مزرعه تک‌کشتی ذرت (*Zea mays* L.) به‌دلیل وجود فضای خالی در کانوپی، تلفات نور به‌مراتب بیش‌تر از بسیاری از گیاهان زراعی دیگر می‌باشد (Tsubo *et al*., 2005)، لذا این فضای خالی امکان همراهی گیاهان دیگر با ذرت را آسان‌تر می‌سازد (Baumann *et al*., 2002). به‌همین دلیل امروز گیاهان زیادی به‌خصوص از تیره بقولات (به‌دلیل قابلیت تثبیت نیتروژن) به‌صورت مخلوط با ذرت کشت می‌شوند.

Koocheki *et al*. (2008) نیز گزارش کردند که شاخص سطح برگ، میزان جذب نور، تجمع ماده خشک و کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در تمامی تیمارهای کشت مخلوط نواری ذرت و لوبیا نسبت به تک‌کشتی آن‌ها افزایش یافت. نام‌بردگان اظهار داشتند به‌استثنای کارایی مصرف نور (۸/۳ و ۱٤/۵ درصد)، افزایش عرض نوار در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تیمار عرض نوار دو ردیفی، منجر به کاهش شاخص سطح برگ (۳٤/۲ و ۵/۵ درصد)، میزان جذب نور (۲۰/۵ و ۱۱/۲ درصد) و تجمع ماده خشک (۱۳/۱ و ۱/۵ درصد) به‌ترتیب در ذرت و لوبیا

1. Photosynthetic Active Radiation

شد. در این بررسی میانگین کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در طول فصل رشد به‌ترتیب از ۱/٦٥ و ۰/۹۸ در تیمار کشت خالص تا ۱/۹٤ و ۱/۱٥ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در تیمار عرض نوار دو ردیفی متغیر بود.

این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه کارایی مصرف نور در گیاه ذرت، تحت تأثیر منابع مختلف کودهای آلی و زیستی و نیز کشت مخلوط لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط آب‌وهوای کرج طراحی و اجرا شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۷ انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و ورمی‌کمپوست در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی دربرگیرنده نوع کود در چهار سطح ۳۰ کیلوگرم در هکتار اوره، کود زیستی (ازتوباکتر)، ورمی‌کمپوست، کود تلفیقی (ازتوباکتر+ ورمی‌کمپوست) و کرت‌های فرعی دربرگیرنده تیمارهای کشت شامل کشت خالص ذرت، کشت خالص لوبیاچیتی، کشت مخلوط سری جایگزینی ۵۰ درصد ذرت: ۵۰ درصد لوبیاچیتی و سری افزایشی ٦۰ درصد ذرت: ٦۰ درصد لوبیاچیتی و ۸۰ درصد ذرت: ۸۰ درصد لوبیاچیتی بودند.

در این آزمایش با توجه به سطح بحرانی فسفر (۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و پتاسیم (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) کودهای شیمیایی سوپرفسفات‌تریپل و سولفات‌پتاسیم مطابق نیاز مزرعه براساس آزمون خاک به‌ترتیب به میزان ٤۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار و هم‌چنین جهت تأمین نیتروژن موردنیاز از کود اوره به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان کود آغازین (استارتر) در مرحله ٦ برگی ذرت استفاده شد (Motashare zadeh *et al*., 2000) باکتری ازتوباکتر کروکوکوم از مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهیه شد. برای تلقیح بذرهای ذرت با کود زیستی ازتوباکتر کروکوکوم، هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای $10^{7}$ عدد باکتری زنده و فعال است مورد استفاده قرار گرفت (Somasegaran & Hoben, 1994).

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

| هدایت الکتریکی ($dS/m^{-1}$) | کربن آلی (%) | نیتروژن کل (%) | فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$) | پتاسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$) | pH | بافت خاک | عمق (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱/۹۳ | ۰/٦٤ | ۰/۰۸ | ۸/٤۱ | ۱٤۰ | ۸/٤ | رسی لومی | ۰-۳۰ |
| ۲/٤۹ | ۰/٦٤ | ۰/۰۸ | ۹/۳۷ | ۱٤۸ | ۸/٤ | رسی لومی | ۳۰-٦۰ |

جدول ۲. ویژگی‌های شیمیایی ورمی‌کمپوست مورداستفاده

| نیتروژن کل (%) | فسفر قابل جذب (%) | پتاسیم قابل جذب (%) | سدیم قابل جذب (%) | کلسیم قابل جذب (%) | منیزیم قابل جذب (%) | هدایت الکتریکی ($dS/m^{-1}$) | کربن آلی (%) | کربن معدنی (%) | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱/۳۹ | ۰/۰۱ | ۰/۳۹ | ۰/۱۲ | ۳/٦ | ۲/۸ | ۱/۸٥ | ۱٦/۸ | ۳٤ | ۷/۸ |

ورمی‌کمپوست به‌کاررفته در طول یک خط ۵ متری به میزان ۳/۷۵ مترمکعب در هکتار استفاده شد. در این آزمایش گیاه ذرت به‌عنوان گیاه اصلی و لوبیا به‌عنوان گیاه همراه در نظر گرفته شدند.

عملیات کاشت بذرها در تاریخ نیم دوم اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۷ به‌وسیله دست و به‌صورت خشک‌کاری هم‌زمان انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل شش ردیف کاشت به طول پنج متر و با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. تراکم معمول در کشت خالص ذرت و لوبیا به‌ترتیب ۹ و ۱۳ بوته در مترمربع و متناسب با تیمارهای کشت مخلوط فواصل روی ردیف ذرت (۱۵، ۱۲/۵ و ۹/۵ سانتی متر) و لوبیا چیتی (۱۰، ۸/۳ و ۶/۲ سانتی متر) تنظیم شد. رقم مورداستفاده ذرت ۷۰۴ از تیپ دیررس و رقم مورد استفاده لوبیا چیتی، صدری بود که از مؤسسه تحقیقات نهال و بذر تهیه شده بود.

نمونه‌های برداری تخریبی (در هر کرت و برای هر کدام از گیاهان سه بوته) به فواصل تقریبی دو هفته یک‌بار صورت گرفت سپس وزن خشک و سطح برگ اندازه‌گیری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری سطح برگ ذرت از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل Delta-t، ساخت انگلستان) استفاده شد. برای تعیین وزن خشک کل نیز ابتدا نمونه‌ها به‌مدت زمان کافی در دمای ۷۰ درجه سلسیوس حرارت آون قرار داده شدند و سپس توسط ترازو وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد.

هم‌زمان با این اندازه‌گیری‌ها، میزان تشعشع رسیده به بالای کانوپی و تشعشع عبور کرده از کانوپی و رسیده به سطح زمین در پایین کانوپی از طریق قراردادن حسگر دستگاه سپتومتر خطی[1] (مدل LP80، ساخت آمریکا) روی سطح زمین و عمود برجهت ردیف‌ها در فاصله ساعت ۱۳-۱۱ ظهر برای تمام کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس براساس مقادیر اندازه‌گیری شده LAI و میزان تشعشع اندازه‌گیری‌شده در بالا و پایین کانوپی در هر کرت با استفاده از معادله مانسی و ساکی (رابطه ۱) مقدار ضریب خاموشی نور (K) برای گیاهان تحت تأثیر هر یک از تیمارها محاسبه شد (Nassiri Mahallati, 2000).

$$I/I_0 = \exp(-k \times LAI) \quad (۱)$$

که در آن، I میزان تشعشع رسیده به پایین کانوپی، $I_0$ میزان تشعشع رسیده به بالای کانوپی، K ضریب خاموشی نور و LAI شاخص سطح برگ گیاه است. به‌منظور برآورده مقادیر روزانه شاخص سطح برگ، به داده‌های حاصل از اندازه‌گیری سطح برگ در طول زمان، تابع گاس (رابطه ۲) برازش داده شد و مقادیر مربوط برای کلیه روزهای دوره رشد برآورد گردید.

$$y = ae^{\frac{-(x-b)^2}{2c^2}} \quad (۲)$$

سپس با استفاده از ضریب خاموشی نور (K) و تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد و با استفاده از رابطه (۳)، کسر تشعشع جذب‌شده ($F_{abs}$) برای هر روز از طول فصل رشد محاسبه شد.

$$F_{abs} = 1 - \exp(-k \times LAI) \quad (۳)$$

در پایان، کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا ($g.MJ^{-1}$) از طریق محاسبه شیب‌خط رگرسیون بین تشعشع تجمعی جذب‌شده توسط کانوپی ($MJ.M^{-2}$) و کل وزن خشک گیاه ($g.m^2$) تخمین زده شد. داده‌های به‌دست‌آمده از طریق نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای رسم اشکال نیز از نرم‌افزار CurveExpert1.3 و Excel2016 استفاده شد. در نهایت ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات موردمطالعه با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 برآورد شد.

1. Linear Septometer, SunScan, Delta T Co., UK

## ۳. نتایج و بحث

### ۳. ۱. شاخص سطح برگ

روند تغییرات شاخص سطح برگ ذرت در طول فصل رشد در تمام تیمارها در ابتدا افزایشی بود، سپس ثابت شده و در مراحل آخر رشد کاهش یافته است. به‌عبارت دیگر، با افزایش روزهای پس از سبزشدن، شاخص سطح برگ با روندی افزایشی در فاصله ٦٥ روز پس از سبزشدن به بیشینه مقدار خود رسید و پس از آن تا انتهای فصل رشد در تمام تیمارها به‌دلیل زرد شدن، پیری و ریزش برگ‌های پایین سایه‌انداز و نزدیک‌شدن به مرحله رسیدگی کاهش یافت (شکل‌های ۱ و ۲).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع کود و کشت مخلوط بر روی صفت مربوط در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات نوع کود بر شاخص سطح برگ نشان داد بیش‌ترین شاخص سطح برگ مربوط به کاربرد تلفیقی ازتوباکتر+ ورمی‌کمپوست با متوسط میانگین ۳/۵ بود که نسبت به تیمار ۳۰ کیلوگرم در هکتار اوره، شاخص برگ را ٤٠ درصد افزایش داد (جدول ٤).

با توجه، به نتایج حاصل می‌توان مهم‌ترین دلیل افزایش شاخص سطح برگ ذرت در تیمار کاربرد تلفیقی کود را به تولید انواع متابولیت‌های مؤثر در رشد گیاه مانند هورمون‌های محرک رشد به‌عنوان عوامل افزاینده رشد گیاه و هم‌چنین گسترش سطح ریشه در اثر فعالیت باکتری‌ها و به‌دنبال آن افزایش جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاه از نقاط دورتر و عمیق‌تر از سطح ریشه، اشاره کرد (Hamidi, 2006).

هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات ساده کشت مخلوط نشان داد شاخص سطح برگ در تیمارهای کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت: ۵۰ درصد لوبیا، ٦٠ درصد ذرت: ٦٠ درصد لوبیا نسبت به تیمار کشت خالص افزایش‌یافته است (جدول ۵). ازجمله علت‌های افزایش شاخص سطح برگ ذرت در تیمار کشت مخلوط را می‌توان احتمالاً به نقش مثبت لوبیا در افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن و جذب بالای آن توسط گیاه ذرت مرتبط دانست،

جدول ۳. نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات نوع کود و کشت مخلوط روی شاخص سطح برگ ذرت رقم (KSC 704)

| منابع تغییرات | درجه آزادی | سطح برگ |
|---|---|---|
| بلوک | ۳ | ۰/۱٦$^{ns}$ |
| نوع کود | ۳ | ۲/۷۲$^{**}$ |
| خطا اصلی | ۹ | ۰/۳۲ |
| کشت مخلوط | ۳ | ۱/٦۹$^{**}$ |
| نوع کود× کشت مخلوط | ۹ | ۰/٤۳$^{ns}$ |
| خطا فرعی | ۳٦ | ۰/۲۹ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۱٦/۱ |

ns، * و **: نبودن اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ٤. نتایج مقایسه میانگین اثر نوع کود بر شاخص سطح برگ ذرت رقم (KSC 704)

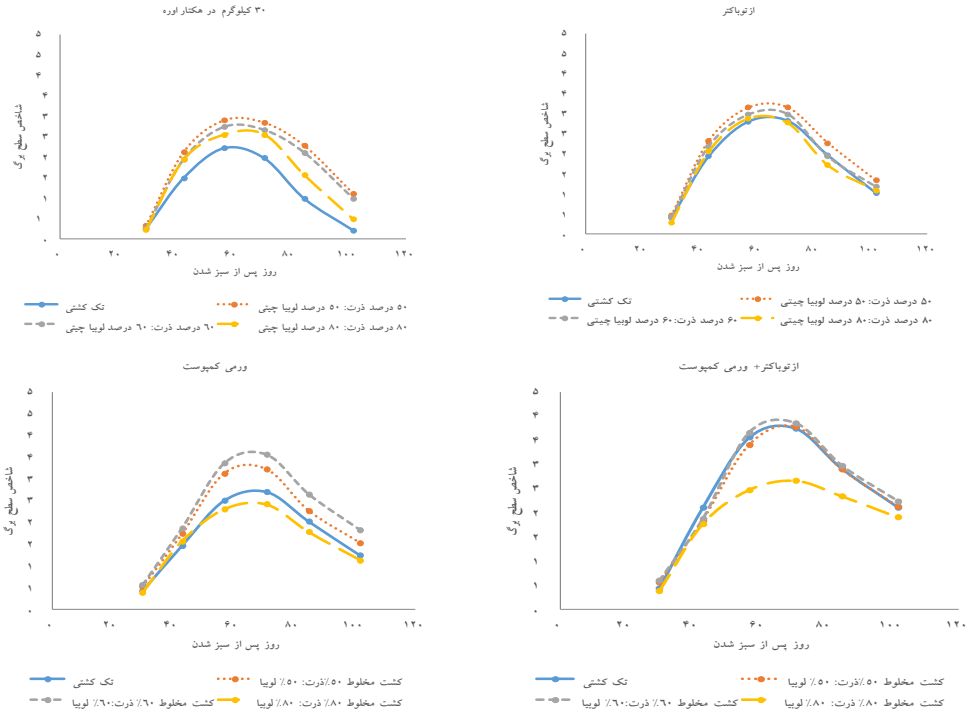
| نوع کود | شاخص سطح برگ |
|---|---|
| ۳۰ کیلوگرم در هکتار اوره | ۲/۵b |
| ازتوباکتر | ۲/۹b |
| ورمی‌کمپوست | ۲/۹b |
| ازتوباکتر+ ورمی‌کمپوست | ۳/۵a |

میانگین‌ها با حروف یکسان براساس آزمون دانکن در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

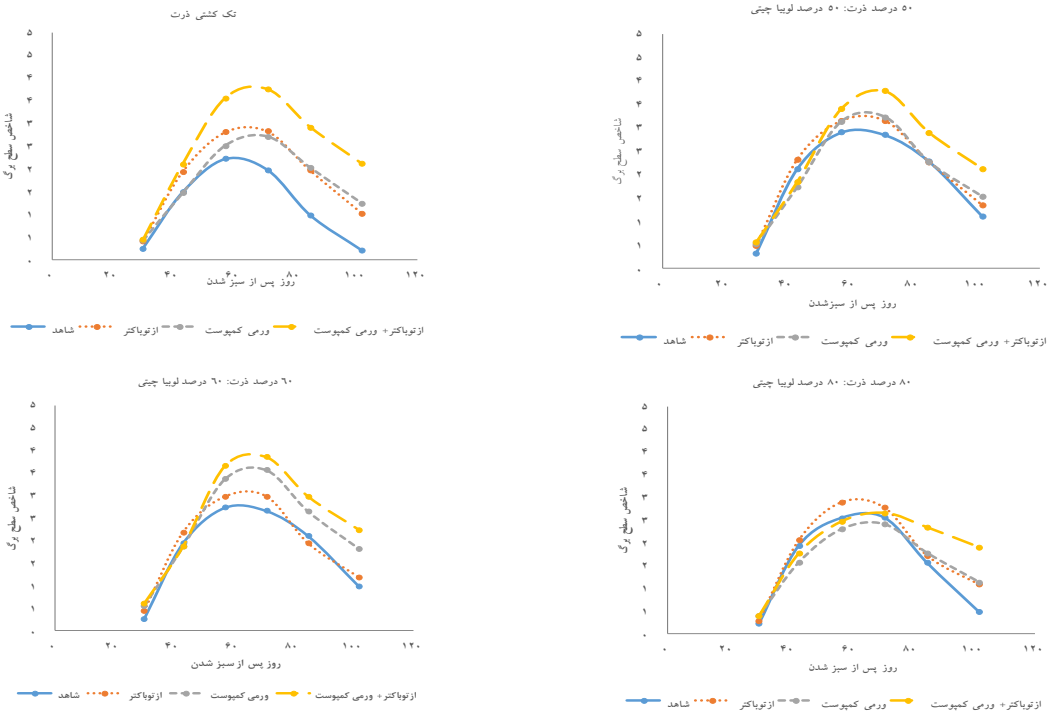
جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثر کشت مخلوط بر روی صفت سطح برگ ذرت رقم (KSC 704)

| کشت مخلوط | شاخص سطح برگ |
|---|---|
| تک‌کشتی ذرت | ۲/۸b |
| ۵۰ درصد ذرت: ۵۰ درصد لوبیاچیتی | ۳/۲a |
| ٦٠ درصد ذرت: ٦٠ درصد لوبیاچیتی | ۳/۲a |
| ۸۰ درصد ذرت: ۸۰ درصد لوبیاچیتی | ۲/٦b |

میانگین‌ها با حروف یکسان براساس آزمون دانکن در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.




شکل ۱. روند تغییرات نوع کود بر شاخص سطح برگ ذرت طی فصل رشد




شکل ۲. روند تغییرات کشت مخلوط بر شاخص سطح برگ ذرت طی فصل رشد

Mukhala *et al*. (1999) نیز افزایش شاخص سطح برگ گیاهان در کشت مخلوط نسبت به حالت تک‌کشتی آن‌ها گزارش کردند. Reedy & Willey (2000) در بررسی کشت مخلوط ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) و بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) نشان دادند که با افزایش تراکم بادام‌زمینی در مخلوط با ارزن، شاخص سطح برگ ارزن به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافت. آن‌ها مهم‌ترین عامل این برتری را به نقش مثبت بادام‌زمینی در افزایش حاصل‌خیزی خاک برای گیاه ارزن نسبت دادند.

### ۳. ۲. ماده خشک کل ذرت

روند افزایش ماده خشک کل ذرت در کلیه تیمارهای آزمایش به‌صورت منحنی سیگموئیدی بود (شکل‌های ۳ و ٤) در ابتدای دوره رشد، به‌دلیل کوچک‌بودن بوته‌ها، تفاوت چندانی بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط از نظر روند افزایش وزن خشک کل ذرت مشاهده نشد، ولی از حدود ٤٠ روز پس از سبزشدن، تجمع ماده خشک کل وارد مرحله رشد خطی شد و به سرعت شروع به افزایش نمود و در حدود ۹۰ روز پس از سبزشدن به بیش‌ترین میزان خود رسید و سپس روند تقریباً ثابتی را در پیش گرفت.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی نوع کود و کشت مخلوط بر ماده خشک کل ذرت معنی‌دار ولی اثر متقابل نوع کود و کشت مخلوط بر آن غیرمعنی‌دار بود (جدول ٦). مقایسه میانگین‌های اثرات ساده نوع کود نشان داد که ماده خشک کل ذرت با کاربرد تلفیقی کود زیستی و آلی نسبت به ۳۰ کیلوگرم در هکتار اوره به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین (۱۹٦۵ گرم در مترمربع) و کم‌ترین (۱۳۷۱ گرم در مترمربع) میزان صفت مذکور به‌ترتیب در تیمارهای ازتوباکتر+ ورمی‌کمپوست و ۳۰ کیلوگرم در هکتار اوره حاصل شد (جدول ۷). تولید ماده خشک انعکاسی از فتوسنتز خالص گیاه است که می‌تواند تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی باشد. عدم دسترسی به منابع تکمیلی نیتروژن کافی در مراحل حساس رشد در سطح کاربرد ۳۰ کیلوگرم در هکتار اوره، به‌دلیل رشد کم‌تر اندام هوایی منجر به تولید ماده فتوسنتزی کم‌تر و تجمع وزن خشک اندک شد. لذا، چنین به‌نظر می‌رسد که استفاده از کودهای آلی و کودهای بیولوژیک از طریق بهبود فعالیت میکروبی خاک و ترشح انواع هورمون‌ها و مواد محرک رشد (نظیر سیتوکنین، اکسین، بیوتین و اسیدهای آلی) و نیز افزایش فراهمی عناصر غذایی (Kartikeyan *et al*., 2008) سبب افزایش و درنهایت بهبود ماده خشک ذرت شد.

جدول ٦. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع کود و کشت مخلوط روی شاخص وزن ماده خشک کل ذرت رقم (KSC 704)

| منابع تغییرات | درجه آزادی | ماده خشک کل |
|---|---|---|
| بلوک | ۳ | ۲۵۳۷۳/٦۲$^{ns}$ |
| نوع کود | ۳ | ۱۱۵٤۰٦/۵۸$^{**}$ |
| خطای اصلی | ۹ | ۲۱۲۱۳/٦٦ |
| کشت مخلوط | ۳ | ۲۱۰٤٦۵/۲۵$^{**}$ |
| نوع کود× کشت مخلوط | ۹ | ۱۸۲۹۹/۷۰$^{ns}$ |
| خطای فرعی | ۳٦ | ۲۳٤۲۹/٤۵ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۹/۲ |

ns، * و **: نبودن اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۷. نتایج مقایسه میانگین اثر نوع کود بر شاخص وزن خشک کل ذرت رقم (KSC704)

| نوع کود | وزن خشک کل ($g/m^2$) |
|---|---|
| ۳۰ کیلوگرم در هکتار اوره | ۱۳۷۱d |
| ازتوباکتر | ۱٤۹۱c |
| ورمی‌کمپوست | ۱۷۷۰b |
| ازتوباکتر+ ورمی‌کمپوست | ۱۹٦۵a |

میانگین‌ها با حروف یکسان براساس آزمون دانکن در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

مقایسه میانگین‌ها اثرات ساده کشت مخلوط نشان داد ماده خشک کل ذرت درکشت مخلوط آن با لوبیا نسبت به تک‌کشتی آن، افزایش یافت. بیش‌ترین (۱۷۲۸ گرم در مترمربع) و کم‌ترین (۱٤۷۹ گرم در مترمربع) ماده خشک کل ذرت به‌ترتیب مربوط به تیمارهای کشت مخلوط افزایشی ٦۰ درصد ذرت: ٦۰ درصد لوبیا و تک‌کشتی ذرت به دست آمد ولی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت: ۵۰ درصد لوبیا، ٦۰ درصد ذرت: ٦۰ درصد لوبیا و ۸۰ درصد ذرت: ۸۰ درصد لوبیا مشاهده نشد (جدول ۸).

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین اثر کشت مخلوط بر روی صفت وزن خشک ذرت رقم (KSC 704)

| کشت مخلوط | وزن خشک کل ($g/m^2$) |
|---|---|
| تک‌کشتی ذرت | ۱٤۷۹b |
| ۵۰ درصد ذرت: ۵۰ درصد لوبیاچیتی | ۱۷۰۰a |
| ٦۰ درصد ذرت: ٦۰ درصد لوبیاچیتی | ۱۷۲۸a |
| ۸۰ درصد ذرت: ۸۰ درصد لوبیاچیتی | ۱٦۹۲a |

میانگین‌ها با حروف یکسان براساس آزمون دانکن در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

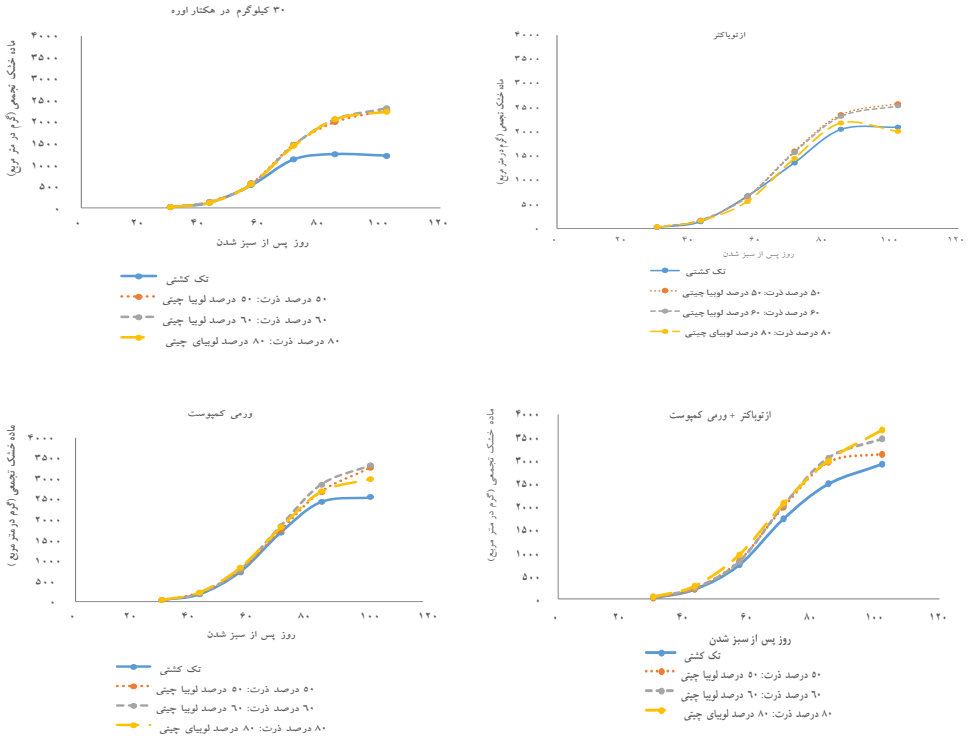
افزایش تجمع ماده خشک درکشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی را احتمالاً می‌تواند به افزایش فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط لوبیا و هم‌چنین افزایش جذب بیش‌تر نور توسط کانوپی کشت مخلوط نسبت داد. گزارش شده است که با افزایش تراکم، ماده خشک تولیدی در تک‌کشتی و کشت مخلوط افزایش می‌یابد و بالابودن تعداد بوته در واحد سطح به‌ویژه در مورد گیاهان علوفه‌ای، میکروکلیمای مناسبی را به‌وجود می‌آورد و باعث افزایش عملکرد ماده خشک کل می‌شود (Danaeifar *et al*., 2001). نتایج به‌دست‌آمده از جدول ضرایب همبستگی پیرسون نشان داد که همبستگی بین تجمع ماده خشک بادوام سطح برگ ($r=۰/٤۲۷^{**}$)، شاخص سطح برگ ($r=۰/٤۵۸^{**}$)، سرعت جذب خالص ($r=۰/۲٦۲^{*}$)، سرعت رشد نسبی ($r =۰/۳۵۹^{**}$) و سرعت رشد محصول ($r=۰/۹۳۰^{**}$) در مرحله گلدهی مثبت و معنی‌دار شد که نشان‌دهنده این است که هرچه دوام سطح برگ و شاخص سطح برگ بیش‌تر شده مواد فتوسنتزی بیش‌تر شده و درنهایت ماده خشک بیش‌تری تجمع یافته است (جدول ۹). گزارش شده است که مقدار فتوسنتز با افزایش مدت زمان فتوسنتز روزانه یا افزایش دوام سطح برگ (LAD)[1] در طول دوره پرشدن دانه، بیش‌تر می‌شود (Richards, 2000).

جدول ۹. نتایج همبستگی پیرسون بین شاخص‌های فیزیولوژیک رشد ذرت

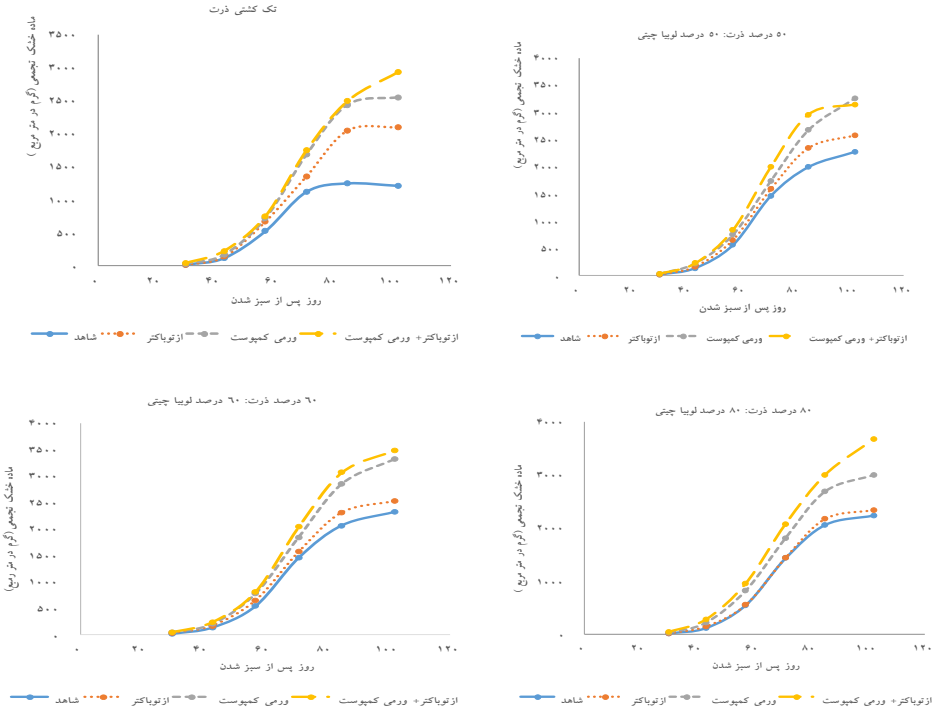
| | سرعت رشد محصول | سرعت رشد نسبی | سرعت جذب خالص | شاخص سطح برگ | دوام سطح برگ | تجمع ماده خشک کل |
|---|---|---|---|---|---|---|
| سرعت رشد محصول | ۱ | | | | | |
| سرعت رشد نسبی | ۰/٤۰$^{**}$ | ۱ | | | | |
| سرعت جذب خالص | ۰/۵۹$^{**}$ | ۰/۳۲$^{**}$ | ۱ | | | |
| شاخص سطح برگ | ۰/٤۲$^{**}$ | −۰/۵۸$^{**}$ | ۰/۰۹ ns | ۱ | | |
| دوام سطح برگ | ۰/٤۱$^{**}$ | −۰/۵۲$^{**}$ | ۰/۱۳ns | ۰/۹۰$^{**}$ | ۱ | |
| تجمع ماده خشک کل | ۰/۹۳$^{**}$ | ۰/۳۵$^{**}$ | *۰/۲٦ | ۰/٤۵$^{**}$ | ۰/٤۲$^{**}$ | ۱ |

ns، * و **: نبودن اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

1. Leaf area duration




شکل ۳. روند تغییرات نوع کود بر تغییرات ماده خشک کل ذرت

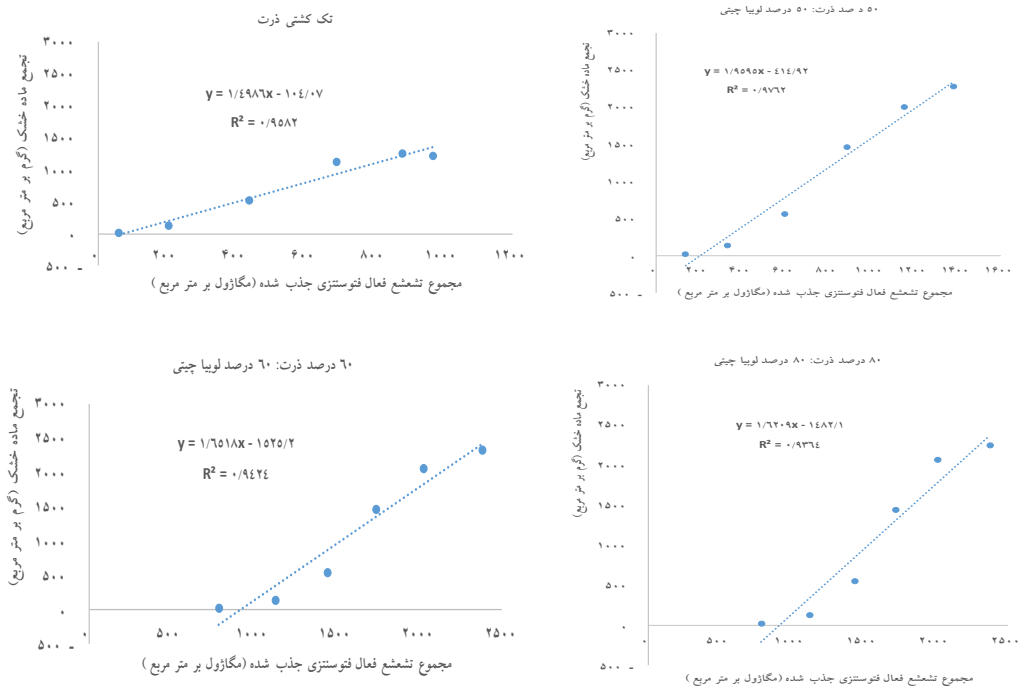



شکل ٤. روند تغییرات کشت مخلوط بر ماده خشک کل ذرت

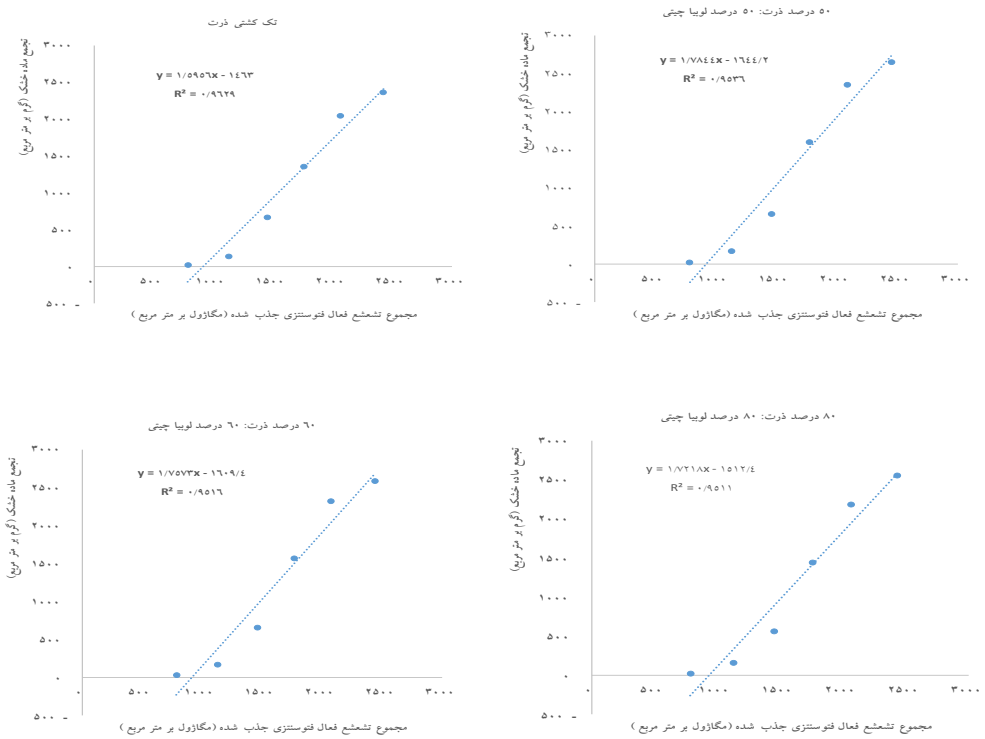
### ۳. ۳. کارایی مصرف نور

نتایج آزمایش نشان داد که در تمام تیمارها، تجمع ماده خشک ذرت ارتباط خطی با تشعشع تجمعی جذب‌شده داشت و در همه موارد ضریب همبستگی بیش از ۰/۹ بود. شیب این خط بیانگر کارایی مصرف نور است که میانگین آن در طول فصل رشد از ۱/٤ در ۳۰ کیلوگرم در هکتار اوره در کشت خالص تا ۲/۲۹ گرم مگاژول در تیمار کاربرد تلفیقی ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست در کشت مخلوط ۸۰ درصد ذرت: ۸۰ درصد لوبیا چیتی متغیر بود و کارایی مصرف نور سایر تیمارها حد واسط این دو تیمار بود (شکل‌های ۵، ٦، ۷ و ۸).

مقادیر کارایی مصرف نور در این آزمایش تا حدودی مشابه با مقادیر گزارش‌شده در سایر آزمایش‌ها می باشد. Beheshti *et al.* (2002) در مقایسه تأثیر آرایش‌های مختلف کاشت بر کارایی مصرف نور ارقام مختلف ذرت، نتیجه گرفتند که بالاترین مقدار کارایی مصرف نور (۳/۸ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی) در آرایش مربعی و در ۸۵ روز پس از کاشت به‌دست آمد و میانگین کارایی مصرف نور ارقام مختلف ذرت در طول فصل رشد از ۲/٤۲ تا ۲/٦۸ گرم بر مگاژول متغیر بود. John *et al.* (2005) نیز کارایی مصرف نور ذرت را تحت شرایط مطلوب رشدی ۳/۷ گرم به‌ازای هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی گزارش کردند. اختلاف‌هایی که بین اعداد گزارش شده در آزمایش‌های مختلف وجود دارد ناشی از تأثیر عوامل مختلف محیطی و مدیریتی از قبیل دما، میزان رطوبت قابل‌دسترس، میزان تشعشع محل مورد آزمایش، تراکم، حاصلخیزی خاک و عوامل دیگر بر کارایی مصرف نور است (Rosati *et al.*, 2004).



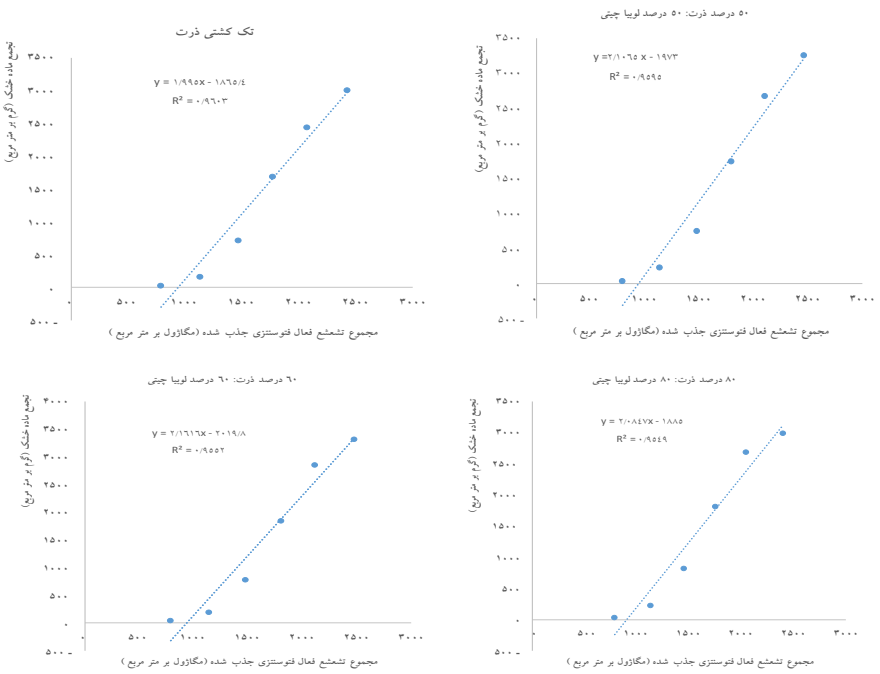

شکل ۵. ارتباط بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی جذب‌شده و وزن خشک ذرت در سیستم‌های مختلف تک‌کشتی و کشت مخلوط تحت تأثیر تیمار ۳۰ کیلوگرم در هکتار اوره



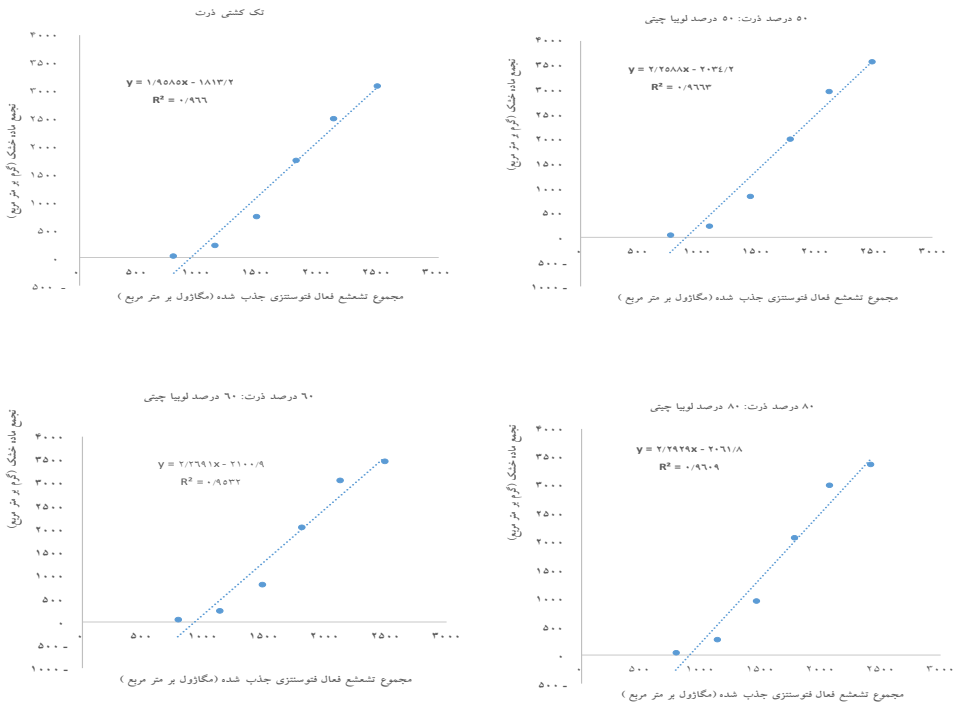

شکل ٦. ارتباط بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی جذب‌شده و وزن خشک ذرت در سیستم‌های مختلف تک‌کشتی و کشت مخلوط تحت تأثیر تیمار کود زیستی ازتوباکتر

کارایی مصرف نور ذرت در تیمارهای مخلوط بیش‌تر از تک‌کشتی بود. یک دلیل احتمال این مسأله افزایش فاصله ردیف‌های ذرت در تیمارهای مخلوط بود که سبب توزیع بهتر نور در کانوپی آن شد. این نتیجه‌گیری از آنجا ناشی شد که هرچه مخلوط از آرایشی ردیفی، که فاصله ردیف‌های ذرت در آن دو برابر کشت خالص بود، به سمت تک‌کشتی تمایل پیدا کرد کارایی مصرف نور نیز به‌تدریج افزایش یافت. هم‌چنین ازآنجایی‌که این آزمایش نیز با هدف اجرای کشت مخلوط در قالب یک سیستم کم‌نهاده می‌باشد، این مسأله سبب شد که در مراحل آخر فصل رشد نشانه‌های کلروزه ناشی از کمبود نیتروژن در گیاه مشاهده شود و ازآنجاکه نیتروژن نقش مهمی در فرایند فتوسنتز دارد و کارایی مصرف نور نیز تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد، لذا به احتمال زیاد کمبود نیتروژن در مراحل آخر فصل رشد سبب شد که شاخص سطح برگ، بهبود جذب تابش و هم‌چنین کارایی مصرف نور در این آزمایش تا حدودی پایین‌تر از آزمایش‌های دیگران باشد.

همان‌طور که در شکل‌های (۱) و (۲) نیز ملاحظه می‌شود، متناسب با افزایش شاخص سطح برگ، میزان نور جذب‌شده توسط کانوپی ذرت، درکشت خالص و مخلوط نیز به‌تدریج افزایش یافت و در حدود ٦۵ روز پس از سبزشدن به حداکثر میزان خود رسید، سپس به‌علت کاهش شاخص سطح برگ تا انتهای دوره رشد، روند نزولی داشت. قابل‌ذکر است که در مراحل انتهایی رشد، در تراکم بالاتر به‌دلیل رقابت درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای و ریزش سریع‌تر برگ‌ها نسبت به تراکم‌های پایین‌تر، جذب نور کاهش یافت.




شکل ۷. ارتباط بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی جذب‌شده و وزن خشک ذرت در سیستم‌های مختلف تک‌کشتی و کشت مخلوط تحت تأثیر تیمار کود آلی ورمی‌کمپوست




شکل ۸. ارتباط بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی جذب‌شده و وزن خشک ذرت در سیستم‌های مختلف تک‌کشتی و کشت مخلوط تحت تأثیر تیمار کاربرد تلفیقی ازتوباکتر+ ورمی‌کمپوست

## ٤. نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نتایج این آزمایش نشان داد که کارایی مصرف نور ذرت در تمام تیمارهای مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا کرد، درحالی‌که کارایی مصرف نور لوبیا در کشت مخلوط کم‌تر بود. به‌نظر می‌رسد که افزایش فاصله ردیف‌های ذرت در مخلوط سبب توزیع بهتر نور و در نتیجه افزایش کارایی مصرف نور ذرت شد. دلیل دیگر بهبود کارایی مصرف نور ذرت، کاربرد تلفیقی کودهای ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر در مقایسه با کاربرد تکی هرکدام از آن‌ها بود. به‌عبارت دیگر، یکی از دلیل‌های کاهش کارایی مصرف نور ذرت در تیمار ۳۰ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با کاربرد کودهای آلی و زیستی، کمبود نیتروژن به‌ویژه در اواخر فصل رشد بود که با نشانه‌های کلروزه برگ‌ها نمایان شد. و این مسأله به‌وضوح نشان می‌دهد که اگرچه کارایی مصرف نور بیش‌تر به‌عنوان یک فاکتور ژنتیکی مطرح بود اما بسیار تحت تأثیر شرایط محیطی و مدیریتی قرار گرفت. بنابراین می‌توان چنین اظهار داشت که جهت بهبود کارایی مصرف نور کاربرد کودهای آلی و زیستی بایستی به‌صورت تلفیقی انجام پذیرد تا ضمن رفع حداکثر نیاز تغذیه‌ای گیاه، کارایی بیش‌تری برای مصرف نور به‌وجود آید. بنابراین با توجه به این‌که استفاده از هر دو کود آلی و زیستی مصرف نور را افزایش داد، با در نظرگرفتن جنبه‌های مثبت کودهای آلی و زیستی در برابر معضلات ناشی از کودهای شیمیایی، جایگزینی کودهای آلی و زیستی با کودهای شیمیایی و استفاده ترکیبی کودهای آلی و زیستی جهت تغذیه گیاه و بهبود کارایی مصرف نور ذرت پیشنهاد می‌شود.

## ٥. تشکر و قدردانی

از زحمات کارکنان و رئیس محترم مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه تهران و استاد محترم جناب آقای دکتر سعید صوفی‌زاده، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ٧. منابع

Alizadeh, Y., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2010). Study of absorbtion and radiation use efficiency in inter cropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agroecology*, *2*(1), 94-104. (In Persian).

Barker, A.V., & Bryson, G.M. (2006). Comparisons of compost with low or high nutrient status for growth of plants in containers. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, *37*,1303-1319.

Baumann, D.T., Bastiaans, L., Goudriaan, J., VanLaar, H.H., & Kropff, M.J. (2002). Analyzing crop yield and plant quality in an intercropping system using an eco-physiological model for interplant competition. *Agricultural Systems*, *73*, 173-203.

Beheshti, A., Koocheki, A., & Nassiri Mahalati, M. (2002). The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. *Nahal and Bazr*, *18(4)*,417-431. (In Persian)

Black, C., & Ong, C. (2000). Utilization of light and water in tropical agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, *104*, 25-47.

Connolly, J., Goma, H.C., & Rahim, K. (2001). The information content of indicators in intercropping research. *Agricalture, Ecosystems and Environment*, *87*, 191-207.

Danaeifar, E., Kashani, A., Nourmohammadi, Gh., Nabati Ahmadi, D., & Siadat, A. (2001). Effects of Plant density and sowing compounds on forage yield and quality in Ahvaz weather conditions. *Pazhouhesh va Sazandegi*, *51*, 50-53. (In Persian).

Erol, A., Kaplan, M., & Kizilsimsek, M. (2009). Oats (*Avena sativa*)-common vetch (*Vicia sativa*) mixtures grown on a low-input basis for a sustainable agriculture. *Tropical Grassland, 43*, 191-196.

Hamidi, A. (2006). *The application of bio-fertilizers on yield and forage Agroecolocgic aspects of late corn silage hybrids*. Ph.D. thesis of Agriculture, Department of Agriculture, Tarbiat Modarres University, p. 181.

John, L.L., Timothy, J.A., Daniel, T.W., Kenneth, G.C., & Achim, D. (2005). Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy Journal*, *97*, 72-78.

Kartikeyan, B., Abdul Jaleel, C., Lakshmanan, G.M.A., & Deiveekasundaram, M. (2008). Studies on rhizosphere microbial diversity of some commercially important medicinal plants. Colloids and Surfaces B: Bionterfaces *62*, 143- 145.

Keating, B.A., & Carberry, P.S. (1993). Resource capture and use in intercropping: solar radiation. *Field Crops Researches*, *34*, 273-301.

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., & Amirmoradi, S. (2008). Evaluation of radiation interception and use efficiency by maize and been intercropping canopy. *Agroecology*, *1*, 23-31. (In Persian)

Montazeri, A., & Malekoti, M.J. (2003). Compost effect on product yield and quality of sunflower, sugar beet and wheat crops in a period. Proceedings of the Third National Conference on Development and use of biological substance used in agricultural pesticides and fertilizers. P. 59.

Motashare Zadeh, B., & Mousavi, M. (2000). *Optimal management of plant nutrition and 100 practical tips in leaf nutrition*. University Jihad.

Mukhala, E., Juger, J.M., & Vanrensburg, L.D. (1999). Dietary nutrient deficiency in small-scale farming communities in South Africa benefits of intercropping maize and beans. *Nutrition Research*, *19*, 629-641.

Nassiri Mahallati, M. (2000). *Modelling of Crops Growth Processes*. Jahad Daneshgahi, Mashhad, Iran. (In Persian).

Reedy, M.S., & Willey, R.W. (2000). A study of pearl millet/ground nut intercropping with particular emphasis on the efficiencies of leaf canopy and root pattern. In: The International Intercropping Workshop. ICRISAT. Hyderabad, Indian.

Renato, Y. Ferreira, M.E. Cruz, M.C., & Barbosa, J. C. (2003). Organic matter fractions and soil fertility under influence of liming, vermicopmpost and cattle manure. *Bioresource Technology*, 60, 63-59

Richards, R.A. (2000). Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops.J Exp Bot *51*, 447-458.

Rosati, A., Metcalf, S.G., & Lampinen, B.D. (2004). A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. *Annals of Botany*, *93*, 567-574.

Somasegaran, P., & Hoben, H.J. (1994). Hand Book for Rhizobia: Methods in legume-Rhizobium Technology. New York. Springer-Verlag, USA.

Sullivan, P. (2003). *Applying the principle of sustainable farming*. ATTRA National sustainable agriculture information service. Tehran Jehad Daneshgahi Press. p.45.

Saleem, R., Ahmed, Z.I., Ashraf, M., Arif, M., Azim Malik, M., Munir, M., & Azeem khan, M. (2011). Response of maize-legume intercropping system to different fertility sources under rainfed conditions. *Sarhad J. Agric*, *27(4)*, 503-511.

Muyayabantu, G.M., Kadiata, B.D., & Nkongolo, K.K. (2013). Assessing the effects of integrated soil fertility management on biological efficiency and economic advantages of intercropped maize (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.) in DR Congo. *American Journal of Experimental Agriculture, 3*, 520-541.