نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۳۴۰-۳۲۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 2, Summer. 2017, p. 323-340

# بررسی وضعیت جذب و استفاده نور در کشت خالص و مخلوط سه گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) و گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.)

پگاه نقی‌پور دهکردی[۱]- علیرضا کوچکی[۲*]- مهدی نصیری‌محلاتی[۲]- سرور خرم‌دل[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۱

## چکیده

به‌منظور تعیین و مقایسه کارایی مصرف نور سه گونه گیاه دارویی سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی در کشت مخلوط جایگزینی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های ۵۰:۵۰ سیاهدانه با گاوزبان (N:B)، سیاهدانه با همیشه‌بهار (N:C)، گاوزبان اروپایی با همیشه‌بهار (B:C)، کشت سه‌گانه با نسبت یک‌سوم از هر گونه (N:C:B) و کشت خالص آن‌ها با تراکم کامل بود. نتایج آزمایش نشان‌دهنده افزایش کارایی مصرف نور هر سه گونه در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی بود که می‌تواند بدلیل مزیت کشت مخلوط در کاهش رقابت درون‌گونه‌ای و بهره‌وری بیشتر منابع در دسترس به‌خصوص تابش باشد. بالاترین کارایی مصرف نور برای سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) و گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) به‌ترتیب با افزایش ۷/۲، ۹/۰۹ و ۴/۳۷ درصدی نسبت به تک کشتی آن‌ها، ۱/۳۴، ۱/۰۸ و ۱/۳۴ گرم بر مگاژول مربوط تیمار کشت مخلوط سه‌گانه بود. میزان کل جذب تابش فعال فتوسنتزی هرکدام از گونه‌ها و همچنین مجموع جذب در تیمار N:C:B کمتر از تابش جذب شده هر یک از گونه‌ها در تیمارهای N:B و C:B و نیز مجموع جذب این تیمارها بود ولی از میزان جذب N:C بیشتر بود که این امر احتمالاً به‌دلیل تراکم نسبتاً مناسب گاوزبان اروپایی در تیمار کشت خالص این گیاه و همچنین تراکم کم هر سه گونه در تیمار N:C:B (یک‌سوم نسبت به کشت خالص) جستجو کرد که با ایجاد مجموع شاخص برگ کمتر، تابش کمتری را دریافت و جذب نموده است. بنابراین، باتوجه به افزایش کارایی مصرف نور به‌نظر می‌رسد که بهره‌گیری از کشت مخلوط برای بهبود تولید گیاهان دارویی سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی می‌تواند از لحاظ اکولوژیکی مفید باشد.

**واژه‌های کلیدی:** بهره‌وری منابع، تابش فعال فتوسنتزی، جذب تابش، کشت مخلوط جایگزینی

## مقدمه

سامانه‌های کشاورزی خودپایدار، کم‌نهاده و کارا از نظر مصرف انرژی در حیطه مطالعات کشاورزی پایدار قرار می‌گیرند و همیشه در مرکز توجه بسیاری از کشاورزان، محققان و سیاستگذاران سراسر جهان بوده‌اند (Mansoori *et al.*, 2013). یکی از مؤلفه‌های کشاورزی پایدار چندکشتی است. چندکشتی به معنی استفاده از یک مزرعه برای تولید دو یا چند محصول در یک سال است. از آن‌جا که تنوع در سامانه‌های کشاورزی برای پایداری تولید محصولات کشاورزی ضروری است (Banik *et al.*, 2006; Zarifpoor, 2011)، کشت مخلوط به‌عنوان یکی از انواع چندکشتی، برای استفاده بهتر از منابع نظیر آب، نور و مواد غذایی نسبت به تک‌کشتی ارجحیت دارد (Zarifpoor, 2011). در کشاورزی پایدار جهت بهبود شرایط زراعی و افزایش کارایی، روش‌هایی توصیه می‌شود که با طبیعت حداکثر سازگاری را داشته و با اصول اکولوژیکی منطبق باشند. کشت مخلوط از جمله این روش‌هاست (Nassiri Mahallati, 2000). کشت مخلوط به‌عنوان یکی از راه‌کارهای زراعی برای افزایش جذب و مصرف نور، می‌تواند منجر به بهبود تولید محصولات زراعی و افزایش عملکرد اقتصادی شود (Ghobadi *et al.*, 2011). در طی سه دهه گذشته مطالعات زیادی روی کارایی مصرف نور در سامانه‌های کشت

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی، استاد و دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: akooch@um.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v15i2.49874

مخلوط با دامنه وسیعی از ترکیبات گیاهان زراعی در سایر نقاط دنیا صورت گرفته است (Khamooshi, 2014).

از راه‌کارهای مهم جهت افزایش تولید محصولات کشاورزی بالا بردن بهره‌وری استفاده از منابع طبیعی مانند آب و مواد غذایی خاک، تابش خورشید، دی‌اکسید کربن اتمسفر و استفاده مؤثر از سطح زمین‌های کشاورزی می‌باشد. از این منابع طبیعی، نور که قابل ذخیره شدن نیست می‌تواند محدودیت بیشتری را در پی داشته باشد (Awal *et al.*, 2006). در شرایط مطلوب زراعی که هیچ عامل محدودکننده دیگری وجود ندارد بین وزن خشک تولیدی با میزان نور جذب شده، به‌ویژه تابش فعال فتوسنتزی (PAR[1]) جذب شده یک رابطه خطی وجود دارد (Alizadeh *et al.*, 2010) و کارایی مصرف نور به‌صورت شیب خط رگرسیونی برازش یافته به داده‌های تغییرات ماده خشک تجمعی طی فصل رشد (به‌عنوان متغیر وابسته) و تابش تجمعی جذب شده توسط گیاه (به‌عنوان متغیر مستقل) تعریف می‌شود (Keating and Carberry, 1993). تولید ماده خشک در شرایط بدون تنش تابعی از زمان و تلفیقی از میزان تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده، کسری از تابش که توسط گیاه جذب می‌شود و کارایی استفاده از تابش جذب شده در تبدیل به ماده خشک است (Willey, 1990).

ضریب استهلاک نور که به شاخص سطح برگ، زاویه تابش، زاویه برگ و وضعیت قرار گرفتن آن بستگی دارد، در استفاده بهینه از نور نقش دارد. وجود برگ‌های عمودی بیشتر با افزایش نفوذ نور به داخل تاج پوشش (کاهش مقدار ضریب استهلاک نور) و برخورد نور به برگ‌های بیشتر در مقادیر کم تابش منجر به افزایش سرعت تبادل کربن می‌شود که این عامل موجب افزایش کارایی مصرف نور در گیاهانی که از لحاظ فیزیولوژیکی با محدودیت منبع مواجه هستند، می‌گردد (Lithourgidis *et al.*, 2011). قانون بیر-لامبرت تکیه بسیاری بر ضریب استهلاک نور دارد، اما با این وجود، در بسیاری از مدل‌های دیگر ضریب استهلاک نوری را چندان تأثیرگذار ندانسته و آن را وارد نمی‌کنند (Alizadeh *et al.*, 2010).

به‌طور کلی، کارایی مصرف نور گونه‌های چهار کربنه بالاتر از گونه‌های سه کربنه و در بین گیاهان سه کربنه کارایی مصرف نور گونه‌های غیربقولات بیشتر از گونه‌های بقولات می‌باشد (Towhidi Nejad *et al.*, 2004)؛ در غیاب تنش، کارایی مصرف نور برای گونه‌های $C_3$ مناطق معتدله بین ۱ تا ۱/۵ گرم بر مگاژول و برای گونه‌های $C_3$ مناطق گرمسیری بین ۱/۵ تا ۱/۷ گرم بر مگاژول می‌تواند متغیر باشد (Alimadadi *et al.*, 2006; Keating and Carberry, 1993). از آن‌جا که اطلاعات اندکی درباره کارایی مصرف نور گیاهان دارویی از جمله سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) و گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) در دسترس است، لذا هدف انجام این آزمایش ارزیابی کارایی مصرف نور این گیاهان در کشت‌های مخلوط به‌صورت سری جایگزینی در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت مخلوط جایگزینی ۵۰:۵۰ سیاهدانه با گاوزبان اروپایی، کشت مخلوط جایگزینی ۵۰:۵۰ سیاهدانه با همیشه‌بهار، کشت مخلوط جایگزینی ۵۰:۵۰ گاوزبان اروپایی با همیشه‌بهار و کشت مخلوط جایگزینی سه‌گانه ۳۳:۳۳:۳۳ سیاهدانه، گاوزبان اروپایی و همیشه‌بهار و کشت خالص این گونه‌ها بود. قبل از اجرای آزمایش و برای اطلاع از وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک، اقدام به نمونه‌برداری مرکب از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری شد که نتایج آزمون خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

عملیات آماده‌سازی مزرعه با انجام شخم و دیسک، ایجاد ردیف‌های کاشت با فواصل ۵۰ سانتی‌متر و سپس کرت‌بندی زمین انجام شد و پس از آن کاشت بذرها انجام پذیرفت. مساحت هر کرت شش متر مربع با ابعاد ۴×۱/۵ متر بود. فاصله کرت‌ها در هر تکرار ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بلوک‌های مجاور نیز یک متر در نظر گرفته شد. کشت همزمان گیاهان در تاریخ ۱۰ اردیبهشت‌ماه، به‌صورت خطوطی در دوطرف هر ردیف کاشت انجام شد که پس از اطمینان از استقرار گیاهچه‌ها، تنک و برای هر گیاه به تراکم مورد نظر رسید.

تراکم کاشت بر مبنای بررسی منابع و عرف رایج منطقه مشهد برای سیاهدانه ۳۵ (Trenbath, 1974)، گاوزبان اروپایی ۱۰ (Koocheki *et al.*, 2013) و همیشه‌بهار ۱۳ (Ameri *et al.*, 2012) بوته در مترمربع بود. روش آبیاری به‌صورت جوی و پشته‌ای بود. اولین و دومین آبیاری مزرعه به‌ترتیب در روز کاشت و سه روز پس از آن انجام و تا پایان فصل، دور آبیاری هفت روزه اعمال شد. وجین علف‌های هرز بنا به ضرورت به‌صورت دستی در طول فصل رشد انجام شد. به‌منظور بررسی آزمایش در شرایط کم نهاده در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد از از هیچ نهاده آلی و شیمیایی نظیر سم و کود استفاده نشد و از طرفی نیز در طول فصل رشد، مزرعه با هیچ بیماری یا آفتی مواجه نگردید.

نمونه‌برداری در طول فصل رشد جهت ثبت روند شاخص‌های رشد و کارایی مصرف نور از سه گیاه مورد مطالعه، ۳۶ روز پس از کاشت، هر دو هفته یکبار (۵ بار نمونه‌برداری) انجام شد. نمونه‌های برداشت‌شده در هر نمونه‌گیری بلافاصله پس از برداشت، درون کیسه‌های پلاستیکی جداگانه‌ای قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل

1- Photosyntetic Active Radiation

می‌شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه خشک شده و اندازه‌گیری وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ گرم انجام شد و از داده‌های به‌دست‌آمده جهت محاسبه تجمع ماده خشک استفاده گردید.

**جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک**

**Table 1- Physical and chemical properties of soil**

| بافت Texture | اسیدیته pH | هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$) | درصد کربن آلی Organic C (%) | درصد ماده آلی Organic matter (%) | نیتروژن کل Total N (ppm) | فسفر قابل جذب Absorbable P (ppm) | پتاسیم قابل جذب Absorbable K (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| لوم سیلتی Silty loam | 8.76 | 1.2 | 0.78 | 0.95 | 15.5 | 12.2 | 321 |

تغییرات روزانه شاخص سطح برگ با برازش تابع لجستیکی (معادله ۱) به داده‌های اندازه‌گیری شده برآورد گردید (Parsa *et al.*, 2007):

$$Y = \frac{a + b \cdot 4 \cdot (\exp(-(t-c)/d))}{(1 + \exp(-(t-c)/d))^2} \quad (۱)$$

که در این معادله، Y: شاخص سطح برگ، b: حداکثر شاخص سطح برگ، c: زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، a و d: ضرایب معادله و t: روز پس از سبز شدن می‌باشد.

میزان تابش در بالا و پایین کانوپی توسط دستگاه سپتومتر خطی (Linear Septometer, SunScan, Delta T Co. UK) ، همزمان با نمونه‌برداری‌های سطح برگ و ماده خشک در فاصله ساعات ۱۱ تا ۱۳ ظهر اندازه‌گیری شد. در هر مورد، سه اندازه‌گیری از زیر کانوپی (جهت محاسبه نور عبور یافته از کانوپی) و سه اندازه‌گیری از بالای کانوپی (جهت اندازه‌گیری کل تابش رسیده به بالای کانوپی) انجام شد. برای اندازه‌گیری مقدار تابش رسیده به پایین کانوپی، دستگاه به شکلی در زیر کانوپی قرار گرفت که حسگرها بین دو ردیف مجاور تقسیم شدند و سایه‌اندازی کانوپی گیاه در طرفین ردیف کاشت به‌دقت اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های بالای کانوپی، در سه زاویه مختلف صفر، ۴۵+ و ۴۵- درجه انجام شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان تابش رسیده به بالای کانوپی در نظر گرفته شد. سپس بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده LAI و میزان تابش اندازه‌گیری شده در بالا و پایین کانوپی در هر کرت و با استفاده از معادله (معادله ۲) مقدار ضریب خاموشی نور (K) برای هر یک از گیاهان محاسبه شد (Ranjbar, 2012).

$$I/I0 = \exp(-K \times LAI) \quad (۲)$$

که در این معادله، I: میزان تابش رسیده به پایین کانوپی، I0: میزان تابش بالای کانوپی، K: ضریب خاموشی نور و LAI: شاخص سطح برگ گیاه است.

سپس با استفاده از ضریب خاموشی نور (K) و تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد و با استفاده از معادله‌های ۳ و ۴، کسر تابش جذب‌شده (Fabs) برای هرروز از طول فصل رشد برای تیمارهای کشت خالص و مخلوط محاسبه شد (Gallagher and Biscoe, 1978).

$$Fabs(Monoculture) = 1 - \exp(-K \times LAI) \quad (۳)$$

$$Fabs(Intercropping) = 1 - \exp(\sum(-Ki \times LAIi)) \quad (۴)$$

در این معادله‌ها، K: ضریب استهلاک نور گیاه و LAI: شاخص سطح برگ آن گیاه و i: هرکدام از گونه‌ها در تیمارهای کشت مخلوط است.

میزان تابش روزانه خورشیدی ($I_T$) برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه‌شده توسط خودریان و فان‌لار (Ranjbar, 2012) محاسبه و در نهایت، میزان کل تابش جذب‌شده روزانه توسط کانوپی ($I_{abs}$) محاسبه شد (معادله ۵).

$$I_{abs} = I_T \times F_{abs} \quad (۵)$$

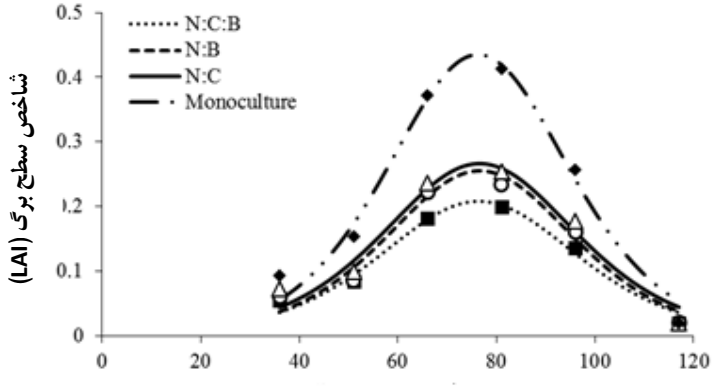
کارایی مصرف نور سه گیاه مورد نظر ($g\ MJ^{-1}$) از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین تابش تجمعی جذب‌شده توسط کانوپی ($MJ\ M^{-2}$) و کل وزن خشک گیاهان ($g\ M^{-2}$) تخمین زده شد. درنهایت جهت برازش تابع به داده‌های شاخص سطح برگ و رسم شکل‌ها به‌ترتیب از برنامه‌های Slide Write و Excel استفاده شد.

## نتایج و بحث

### شاخص سطح برگ

در این آزمایش تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف برای هرکدام از گیاهان سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان روند سیگموتیدی (Francescangeli *et al.*, 2006) و نسبتاً یکسانی داشت. بر این اساس گیاه سیاهدانه در ابتدای فصل، رشد کند و تدریجی داشت و با تولید برگ‌های بیشتر توسط گیاه و تقریباً در تمامی تیمارها کمی قبل از شروع گلدهی (حدود ۴۰ روز پس از کاشت) سرعت رشد گیاه افزایش یافت و پس از گلدهی کامل و کاسته شدن از روند افزایشی مرحله قبل، کلیه تیمارها هنگام شروع رسیدگی فیزیولوژیک به حداکثر مقدار شاخص برگ رسیده (حدود ۷۵

روز پس از کاشت) و پس از آن کاهش یافتند (شکل ۱). بیشترین شاخص سطح برگ سیاهدانه در بین تیمارهای مختلف در تیمار کشت خالص (۰/۴۳) و کمترین آن (۰/۲) در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه مشاهده شد. یافته‌های بسیاری بر همبستگی بالای شاخص سطح برگ و عملکرد گیاه مورد اشاره تأکید دارد (Hossein Panahi *et al.,* 2011; Parsa *et al.,* 2007).




**شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) سیاهدانه در تیمارهای کشت خالص (Monoculture)، کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار (N:C)، کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی (N:B) و کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی (N:C:B)**

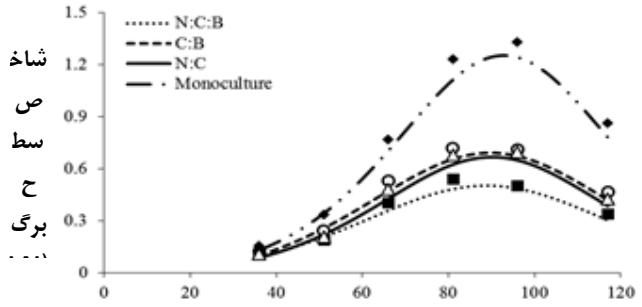
**Figure 1- LAI trend of black cumin in monoculture, N:C (Black cumin and Marigold), N:B (Black cumin and Borage) and N:C:B (Black cumin, Marigold and Borage)**

برخلاف سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی در هنگام برداشت محصول، به پایان طول دوره رشد خود نرسیده بودند؛ بنابراین، در این دو گونه گیاهی پس از نقطه اوج سطح برگ و شروع روند کاهشی سطح برگ خود، هنوز به حداقل سطح برگ خود نیز نرسیده بودند (شکل‌های ۲ و ۳).

پس از گذشت حدود ۹۰ روز، کلیه تیمارهای مختلف همیشه‌بهار به حداکثر شاخص سطح برگ خود رسیدند و پس از آن، روند کاهشی در این شاخص مشاهده گردید (شکل ۲). بالاترین شاخص سطح برگ در تیمار کشت خالص همیشه بهار با مقدار ۱/۲۵ و حداقل آن در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه با مقدار ۰/۵ ثبت شد. همچنین شاخص سطح برگ در تیمارهای کشت مخلوط دوگانه‌ی سیاهدانه-همیشه‌بهار با مقدار ۰/۶۶ و همیشه‌بهار- گاوزبان اروپایی با مقدار ۰/۶۸ روندی مشابه با سایر تیمارها و اعدادی نزدیک به هم و در میانه‌ی دو تیمار دیگر را دارا بودند. در پژوهش‌های جداگانه‌ای بالاترین شاخص سطح برگ رازیانه، لوبیا، زیره، نخود و کنجد مربوط به تیمار کشت خالص آن‌ها بود و تیمارهای کشت مخلوط شاخص سطح برگ کمتری را دارا بودند (Kiniry *et al.,* 1999; Scott and Jaggard, 2000).

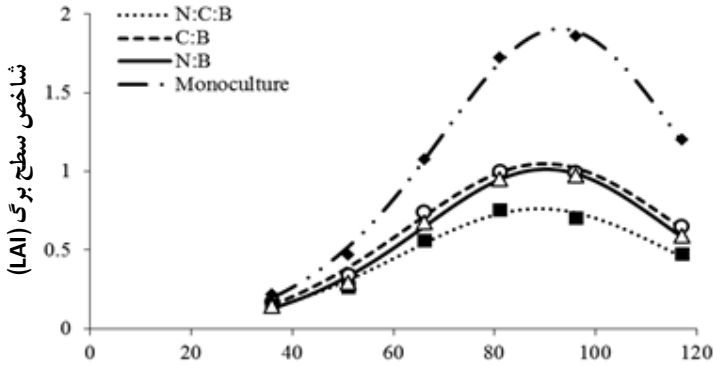
همچون گیاه همیشه‌بهار، نقطه رسیدن به اوج شاخص سطح برگ تیمارهای مختلف گاوزبان اروپایی نیز حدود روز ۹۰ ام پس از کاشت بود. حداکثر شاخص سطح برگ گاوزبان نیز در تیمار کشت خالص (۱/۹) و حداقل آن در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه (۰/۷۶) مشاهده شد و از سویی دیگر، نقطه اوج شاخص سطح برگ دو تیمار کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی و همیشه‌بهار- گاوزبان اروپایی به‌ترتیب ۱/۱ و ۱/۴ بود (شکل ۳). عموماً روند رشد سطح برگ گیاهان طی فصل رشد به‌صورت غیرخطی می‌باشد، به‌طوری که در نیمه دوم فصل رشد به حداکثر خود می‌رسد و سپس با از بین رفتن برگ‌های پیر کاهش می‌یابد و این زمانی است که تولید برگ‌های جدید کفاف سطح برگ از دست رفته را نمی‌دهد (Keating and Carberry, 1993).

با توجه به این که میزان جذب نور توسط برگ‌ها یکی از عوامل عامل مهم مؤثر بر رشد و تولیدات گیاهی میزان جذب نور توسط برگ‌ها است، افزایش میزان برگ در مزرعه باعث افزایش میزان جذب نور خواهد شد که در نهایت به شرط محدودکننده نبودن عوامل محیطی زنده و غیرزنده، می‌تواند منجر به افزایش تولید ماده خشک و در نتیجه، عملکرد شود.




**شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) همیشه‌بهار در تیمارهای کشت خالص (Monoculture)، کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار (N:C)، کشت مخلوط همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی (C:B) و کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی (N:C:B)**

**Figure 2- LAI trend of marigold in Monoculture, N:C (Black cumin and Marigold), C:B (Marigold and Borage) and N:C:B (Black cumin, Marigold and Borage)**




**شکل ۳- روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) گاوزبان اروپایی در تیمارهای کشت خالص (Monoculture)، کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی (N:B)، کشت مخلوط همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی (C:B) و کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی (N:C:B)**

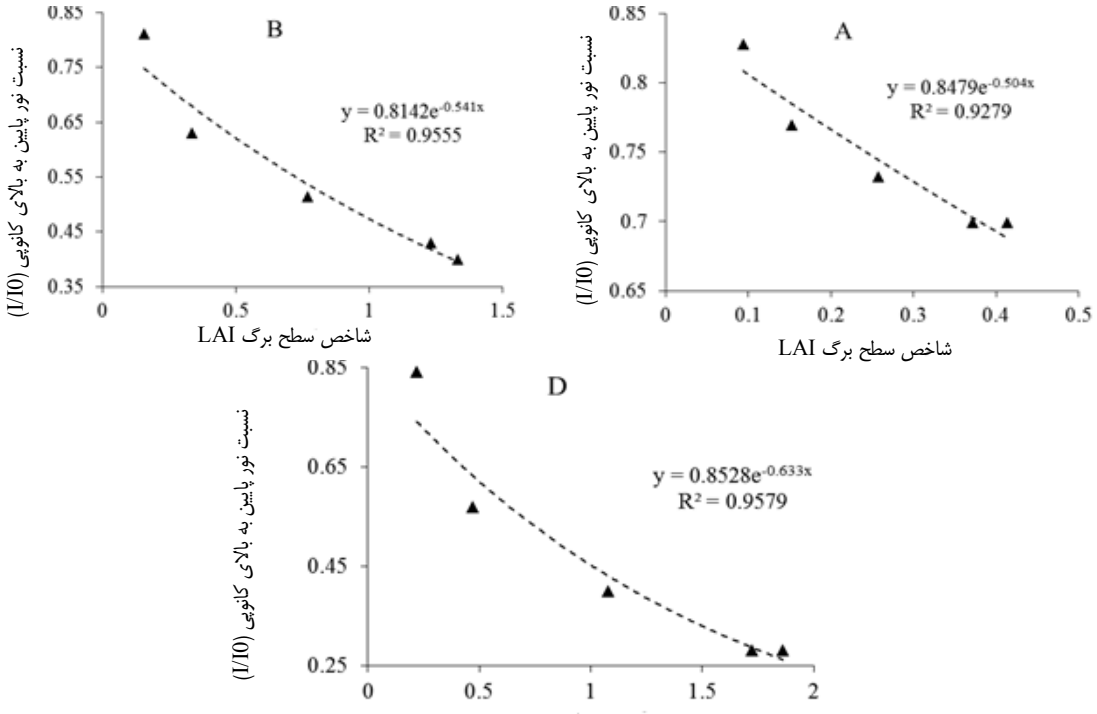
**Figure 3- LAI trend of borage in Monoculture, N:B (Black cumin and Borage), C:B (Marigold and Borage) and N:C:B (Black cumin, Marigold and Borage)**

به‌نظر می‌رسد در تیمارهای کشت مخلوط به هنگام به اوج رسیدن سطح برگ همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی، به‌علت جثه کوچک سیاهدانه، این گیاه در سایه دیگر گیاهان قرار گرفت و به‌دلیل عدم دریافت نور کافی شاخص سطح برگ آن با سرعت زیادتری نسبت به آنچه در شکل ۱ دیده شد افت کرد. دلیل عدم بروز این اتفاق را می‌توان چنین توضیح داد که از طرفی زمان به اوج رسیدن سطح برگ سیاهدانه حدود دو هفته زودتر از سایر گیاهان اتفاق افتاد و زمان افت قابل توجه سطح برگ سیاهدانه (بروز شیب زیاد کاهشی در روند شاخص سطح برگ سیاهدانه) با زمان به اوج رسیدن شاخص سطح برگ همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی تقریباً همزمان بود. نتیجه حاضر می‌تواند مؤید این امر باشد که سیاهدانه به خوبی توانسته است با کشت مخلوط با دو گیاه همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی تطابق پیدا کند. شروع سریع مرحله رشد خطی در روند شاخص سطح برگ در گیاه پنیرک در کشت مخلوط پنیرک و شنبلیله نشان‌دهنده شروع

توسعه سریع سامانه ریشه‌ای و رسیدن گیاه به مرحله‌ای است که در آن توانایی جذب حداکثر عناصر غذایی و آب را پیدا می‌کند (Razavi, 2014). پس از اینکه سطح برگ گیاه پنیرک در تیمارهای مختلف به بیشترین میزان خود در طول فصل رشد رسید، به‌دلیل خشبی شدن ساقه‌ها، افزایش سایه‌اندازی گیاه به درون کانوپی و زرد شدن برگ‌های گیاه و در نهایت، ریزش آن‌ها، میزان شاخص سطح برگ روند نزولی پیدا کرد.

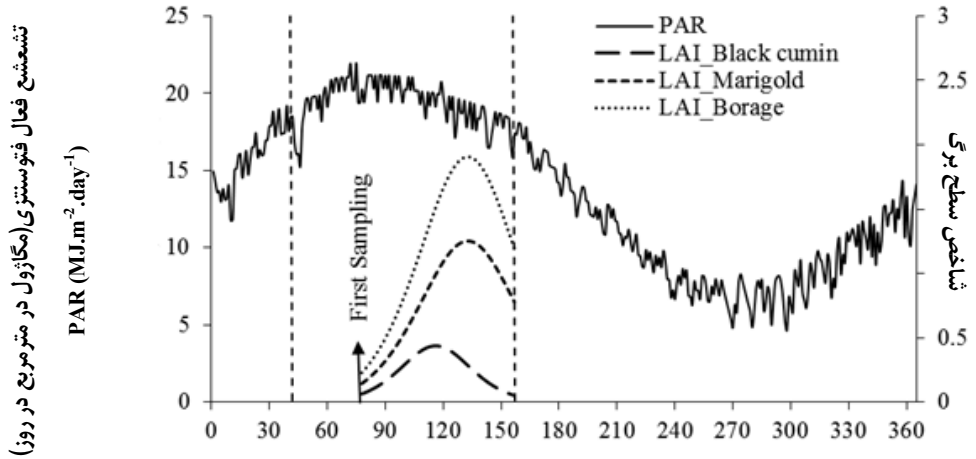
## ضریب استهلاک نور (K)

محاسبه ضریب استهلاک نور بر اساس قرارداد و با فرض ثابت بودن این ضریب در کشت خالص و مخلوط، در کشت خالص گیاهان انجام می‌شود (Kiniry *et al.,* 1999; Sinclair and Muchow , 1999). در این آزمایش ضریب استهلاک نور برای سیاهدانه ۰/۵ (شکل ۴-الف) و برای همیشه‌بهار و گاوزبان از سیاهدانه بیشتر و به‌ترتیب برابر با ۰/۵۴ (شکل ۴-B) و ۰/۶۳ (شکل ۴-C) به‌دست آمد. اختلاف موجود بین ضریب استهلاک نور گیاهان مورد بررسی می‌تواند به‌علت اختلاف در ساختار کانوپی، به‌خصوص آرایش برگ‌ها و شاخص سطح برگ گیاهان باشد (Alimadadi *et al.,* 2006). از علل دیگر پایین بودن مقدار ضریب استهلاک نور می‌توان به کم بودن تراکم این گیاهان (و در نتیجه ایجاد شاخص سطح برگ کم) اشاره کرد. ضریب استهلاک نور یکی از اجزای اصلی در معادله لامبرت-بیر است که میزان ممانعت پوشش گیاهی از عبور نور را نشان می‌دهد و بر اساس همین قانون، مقدار تابش دریافت شده توسط گیاه، تابعی از شاخص سطح برگ و ضریب استهلاک نور است. ضریب استهلاک نور به‌صورت «شیب خط تابع نمایی برازش یافته بر نسبت نور پایین به بالای کانوپی به‌عنوان تابعی از شاخص سطح برگ» محاسبه می‌شود. بسیاری از مدل‌های استفاده شده برای ارزیابی کارایی نور بر اساس قانون لامبرت-بیر هستند که به‌طور کامل در لایه‌های مختلف در کانوپی کشت مخلوط قابل استفاده است (Alizadeh *et al.,* 2010).




**شکل ٤- نسبت نور پایین به بالای کانوپی ($I/I_0$) به‌عنوان تابعی از شاخص سطح برگ سیاهدانه (A)، همیشه‌بهار (B) و گاوزبان اروپایی (C) (شیب خط تابع برازش‌یافته به داده‌ها نشان‌دهنده ضریب استهلاک نور است)**

**Figure 4- Blew/above canopy radiation (I/I0) as a function of LAI of black cumin (A), marigold (B) and borage (C) (The slope of the function indicates K)**




**شکل ۵- تغییرات تابش فعال فتوسنتزی رسیده به سطح زمین در طول سال (بر اساس تقویم جلالی) و انطباق آن با روند شاخص سطح برگ سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی در طی فصل رشد**

(حدفاصل بین دو نقطه‌چین عمودی طول دوره آزمایش و محل فلش تاریخ اولین نمونه‌برداری را نشان می‌دهد؛ به منظور جلوگیری از ازدحام داده‌ها، فقط روند شاخص سطح برگ تیمارهای کشت خالص گیاهان مورد مطالعه نمایش داده شده‌اند.)

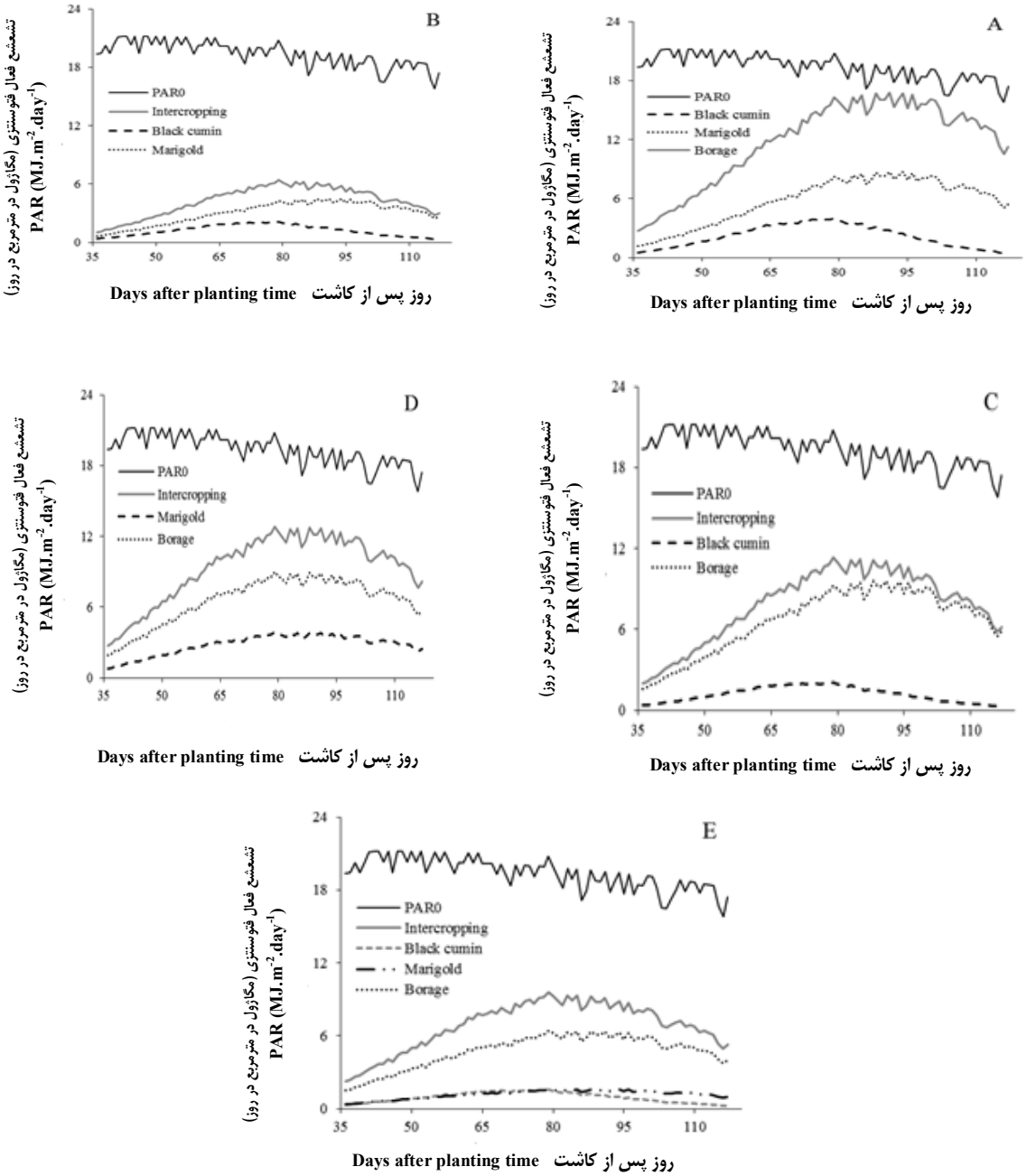
**Figure 5- Trend of indicent photosyntethic active radiation to the atmpsphere during the year of experiment (based on Jalalian calendar) and its compliance to trend of LAI of black cumin, marigold and borage during growing season**

(The space between two dotted line and the place of arrow on horizontial axis indicates period of the experiments and the date of first plants sampling, repectively; In order to avoid swarm of data, only LAI of plants in theirs monoculture are displayed.)

### تابش جذب شده توسط کانوپی

با توجه به شکل ۱ طول دوره آزمایش با وقوع حداکثر میزان تابش فعال فتوسنتزی در سال همزمان بوده است. همچنین حدفاصل بین کاشت تا اولین نمونه‌برداری میزان تابش فعال فتوسنتزی با شیب کمی افزایش و پس از آن، تا پایان دوره آزمایش نیز با شیب کمی کاهش یافت. از آن‌جا که بالاترین شاخص سطح برگ هر سه گیاه سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی در طی دوره انجام آزمایش حاصل شد، بنابراین، به‌نظر می‌رسد انتخاب زمان انجام آزمایش از نظر برخورد تولید حداکثر سطح برگ گیاهان با حداکثر میزان تابش فعال فتوسنتزی قابل دسترس که از لحاظ مدیریت زراعی اهمیت دارد مطلوب بوده است (Keating and Carberry, 1993).

شکل ۶ میزان تابش فعال فتوسنتزی بالای کانوپی در طی اجرای آزمایش و نیز میزان جذب کانوپی کشت‌های خالص و مخلوط به تفکیک هرکدام از گیاهان سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان را به‌صورت جداگانه نمایش می‌دهد. الگوی تغییرات زمانی جذب نور در تمامی تیمارها از الگوی رشد سطح برگ تبعیت داشت و بر اساس شکل ۶ بالاترین میزان جذب تابش فعال فتوسنتزی به تیمارهای کشت خالص گیاهان مورد مطالعه، بدلیل برخوردار بودن از بیشترین شاخص سطح برگ در بین تیمارها اختصاص داشت. در کلیه شکل‌های «A» تا «E» مربوط به شکل ۶ میزان جذب تابش فعال فتوسنتزی از زیاد به کم به‌ترتیب به گاوزبان اروپایی، همیشه‌بهار و سیاهدانه مربوط بود و به‌طور کلی، بخش اعظمی از جذب تابش فعال فتوسنتزی در کل پوشش گیاهی کشت‌های مخلوط دارای گاوزبان اروپایی توسط این گیاه انجام شد و از سوی دیگر، کمترین مقدار جذب در تیمارهای کشت مخلوط مربوط به تیمارهایی بود که با سیاهدانه کاشته شده بودند. با توجه به شکل ۶-A حداکثر تابش جذب شده در تیمارهای کشت خالص بر میزان تابش بالای کانوپی مماس نشد. این اختلاف موجود بین حداکثر جذب تابش با حداکثر تابش دردسترس گیاه، برای گاوزبان اروپایی کم و برای همیشه‌بهار و سیاهدانه، زیاد و بسیار زیاد بود. به نظر می‌رسد با تصمیمات بهتر زراعی همچون افزایش تراکم کاشت این گیاهان، بتوان از پتانسیل محیط حداکثر استفاده را کرد.




**شکل ٦- روند تغییرات میزان تابش فعال فتوسنتزی رسیده به بالای کانوپی ($PAR_0$)، میزان تابش فعال فتوسنتزی جذب شده پوشش گ کشت مخلوط (intercropping) و کشت خالص سیاهدانه (black cumin)، همیشه‌بهار (marigold) و گاوزبان اروپایی (Borage) در تیمارهای کشت خالص (A)، کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار (B)، کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی (C)، کشت مخلوط همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی (D) و کشت مخلوط سه‌گانه سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی (E)**

**Figure 6- The trend of the photosynthetic active radiation reached to the top of the canopy ($PAR_0$), photosynthetic active radiation absorbed by in intercropping, and black cumin, marigold and borage in monoculture (A), intercropping of black cumin-marigold (B), black cumin-borage (C), marigold-borage (D) and triple intercropping of black cumin, marigold and borage (E)**

مقدار جذب تابش فعال فتوسنتزی در تیمار کشت خالص گاوزبان اروپایی که دارای بالاترین شاخص سطح برگ این گیاه در تیمارهای مختلف آزمایش بود از میزان جذب سایر تیمارهای کشت خالص و مخلوط بیشتر بود (شکل ۶-A)، اما به‌طور کلی میزان جذب تیمارهای کشت مخلوط از تیمارهای کشت خالص همیشه‌بهار و سیاهدانه بیشتر بود. شیکاتا و همکاران در سال ۲۰۰۳ در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم بلبلی، کل میزان نور دریافتی را نسبت به حالت تک کشتی بالاتر توصیف کردند. علاوه بر این، بالا بودن میزان جذب نور در کشت مخلوط در مطالعات متعدد دیگری نیز گزارش‌شده است (Koocheki *et al.,* 2013; Willey, 1990). در کشت خالص، پوشش گیاهی حتی در تراکم‌های مطلوب هم به دلایلی همچون اشباع نوری برگ‌ها و انعکاس نور از سطح آن‌ها (Mostafavi, 2014) نمی‌تواند به‌طور کامل از نور موجود استفاده کند اما در کشت مخلوط، گونه‌هایی گیاهی با آرایش برگ و ارتفاع متفاوت، موجب جذب بیشتر تابش از نظر کمی و کیفی می‌شوند (Ahmadi *et al.,* 2011). همچنین با توجه به شکل‌های ۶-B تا ۶-E، میزان جذب تابش فعال فتوسنتزی گیاهان مورد مطالعه و نیز مجموع جذب تیمار کشت مخلوط سه‌گانه از گیاهان موجود در تیمارهای کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی و همیشه‌بهار- گاوزبان اروپایی و نیز مجموع جذب این تیمارها کمتر و از تیمار سیاهدانه- همیشه‌بهار بیشتر بود.

دلیل حصول این نتایج را می‌توان تراکم تقریباً مناسب گاوزبان در تیمار کشت خالص این گیاه و نیز تراکم کم گیاهان سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی (تراکم یک سوم نسبت به تیمار کشت خالص) در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه جستجو کرد که با ایجاد مجموع شاخص برگ کمتر، تابش کمتری را نیز دریافت و جذب نموده است. طبق رابطه لامبرت-بیر، بین شاخص سطح برگ و جذب تابش رابطه‌ای غیرخطی وجود دارد، بنابراین نصف شدن تراکم در تیمارهای کشت دوگانه و یک‌سوم شدن آن در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه به معنای نصف و یک‌سوم شدن میزان جذب تابش توسط کانوپی این گیاه نیست. از سوی دیگر تغییر میزان تراکم گیاه بدلیل اثری که می‌تواند بر آرایش برگ‌ها و زاویه آن‌ها با افق داشته باشد، منجر به تغییر ضریب استهلاک نور گیاه شود (Alimadadi *et al.,* 2006; Alizadeh *et al.,* 2010; Brooker *et al.,* 2015 و میزان جذب تابش را تغییر دهد.

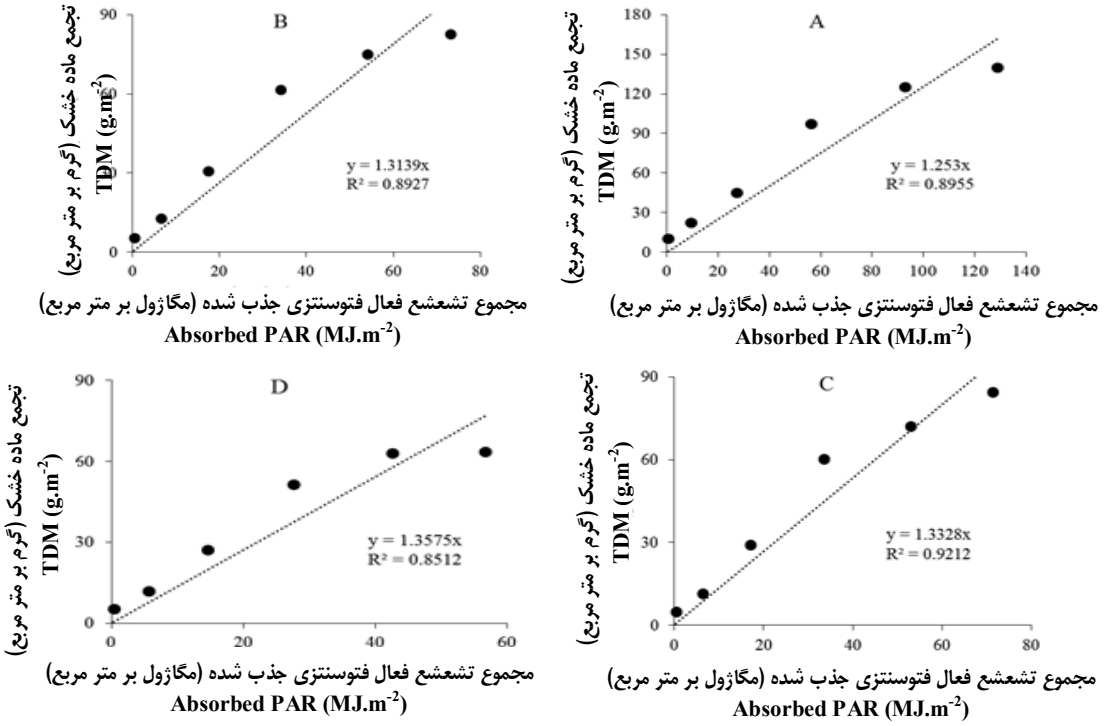
### کارایی مصرف نور گیاه سیاهدانه

کارایی مصرف نور در تیمار کشت خالص سیاهدانه مقداری برابر با ۱/۲۵ گرم بر مگاژول به‌دست آمد (شکل ۷-A) و کمترین کارایی مصرف نور در بین همه گیاهان کاشته شده در تیمارهای کشت مخلوط، مربوط به سیاهدانه بود. در بسیاری از تحقیقات انجام شده، کشت مخلوط گیاهان دارویی معمولاً از لحاظ عملکرد محصول اقتصادی و شاخص‌هایی که منجر به این امر می‌شوند نسبت به کشت خالص برتری داشته‌اند. کارایی مصرف نور لوبیا و گاوزبان اروپایی در تمامی تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا کرد (Koocheki *et al.,* 2013). در واقع در زراعت‌های تک‌کشتی همواره مقادیری از تابش فتوسنتزی به دلیل وجود فضاهای خالی در کانوپی تلف می‌شود. مقدار این تلفات در زراعت‌های مخلوط به دلیل پوشش بیشتر سطح خاک کاهش یافته و در نتیجه میزان جذب تابش کل به نسبت تک کشتی بیشتر می‌شود. همین مسئله به تنهایی می‌تواند سبب افزایش کارایی مصرف نور و در نتیجه عملکرد گیاه گردد (Jahan *et al.,* 2012).

کارایی مصرف نور سیاهدانه در تیمار کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار با ۰/۰۶ گرم بر مگاژول افزایش نسبت به تیمار کشت خالص به ۱/۳۱ گرم بر مگاژول رسید (شکل ۷-B). در برخی آزمایشات دیده شده که در کشت‌های مخلوط، سایه‌اندازی گیاهان بر روی یکدیگر موجب کاهش تابش جذب شده‌ی گیاه دیگر شده و بنابراین، کارایی مصرف نور آن گیاه کاهش پیدا کرده است. به‌عنوان مثال، علی‌زاده و همکاران (Alizadeh *et al.,* 2010) گزارش دادند که کارایی مصرف نور لوبیا در کشت مخلوط نواری با ریحان رویشی در مقایسه با کشت ردیفی این دوگیاه با یکدیگر کمتر بود و دلیل این امر را عدم توزیع مناسب نور در کشت مخلوط نواری نسبت به کشت مخلوط ردیفی و سایه‌اندازی ریحان رویشی بر روی لوبیا ذکر کردند، اما از آن‌جا که تجمع وزن خشک به ازای هر واحد تابش جذب شده در ۷۵٪ تابش کامل بیشتر از تابش کامل است (Mirhashemi, 2006) می‌توان چنین استنباط کرد که افزایش کارایی مصرف نور سیاهدانه در تیمار کشت مخلوط علاوه بر اینکه می‌تواند در نتیجه‌ی روابط هم‌افزایی متقابل سیاهدانه با سایر گیاهان در کشت مخلوط باشد، به‌دلیل قرار گرفتن آن در پناه گیاهان دیگر و عدم اشباع نوری سیاهدانه در تیمار کشت مخلوط (تا حدی که موجب کاهش رشد این گیاه نشده) بوده است و بنابراین، کارایی مصرف نور این گیاه را افزایش داده است.

کارایی مصرف نور سیاهدانه در تیمار کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی نیز با ۰/۰۸ گرم بر مگاژول افزایش نسبت به تیمار کشت خالص و اختلاف ۰/۰۲ گرم بر مگاژول نسبت به تیمار کشت مخلوط سیاهدانه- همیشه‌بهار به ۱/۳۳ رسید (شکل ۷-C). در شرایط کشت مخلوط سیاهدانه با همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی شرایط به گونه‌ای است که با کاشت سیاهدانه در شرایط کشت مخلوط، در اوایل رشد این گیاه گیاهان دیگر با رشدی سریع‌تر از سیاهدانه تا حدودی کمبود پوشش سطح زمین توسط سیاهدانه را جبران می‌کنند و حضور

گیاهان دیگر در کنار سیاهدانه مانع از هدر روی تمامی منـابع نـوری رسیده به سطح زمین می‌گردد و این چیزی است که در کشت خالص سیاهدانه وجود ندارد.




**شکل ۷- میزان ماده خشک تجمعی سیاهدانه به‌عنوان تابعی از تابش تجمعی در تیمارهای کشت خالص سیاهدانه (A)، کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار (B)، کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی (C) و کشت مخلوط سه‌گانه سیاهدانه-همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی (D) (شیب خط رگرسیون نشان‌دهنده کارایی مصرف نور است.)**

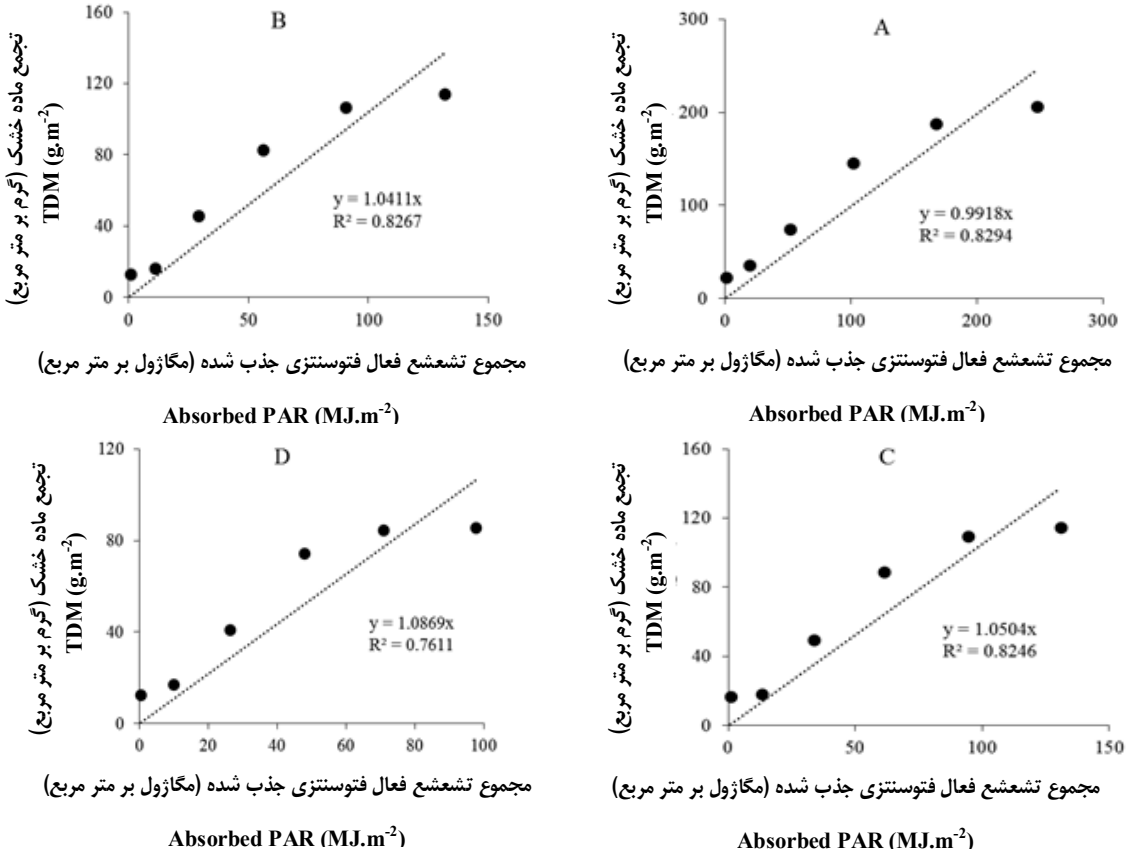
**Figure 7- Total dry matter of black cumin as a function of cumulative radiation in monoculture of black cumin (A) and intercropping of black cumin-marigold (B), black cumin-borage (C) and triple intercropping of black cumin, borage and marigold (D) (the slope of the regression trend line indicates RUE)**

چنان‌که با توجه به عملکرد و ماده خشک تولید شده سیاهدانه در تیمار کشت مخلوط سه‌گانـه انتظـار مـی‌رفـت کـارایی مصـرف نـور سیاهدانه در این تیمار بالاترین مقدار در بین سیاهدانه‌های کشت شده در تیمارهای آزمایش داشته باشد. بر این اساس کارایی مصـرف نـور سیاهدانه در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه ۱/۳۴ گرم بر مگاژول بود که نسبت به تیمارهای کشت خالص سیاهدانه، کشت مخلوط سیاهدانه- همیشه‌بهار و کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی به‌ترتیب حدود ۰/۰۹، ۰/۰۳ و ۰/۰۱ گرم بر مگاژول افزایش داشت (شکل ۷-D). بـا توجه به نتایج تحقیقات مختلف، دلیل این امر بـه‌طـور کلـی برتـری زراعت مخلوط نسبت به کشت خالص به دلیل استفاده بهینه از منابع در دسترس است. تفاوت اجزای مخلوط در استفاده از منابع موجب بالا رفتن کارایی استفاده از منـابع مـی‌شـود (Mariotti and Masoni, 1997). به‌عنوان مثال، اختلاف ارتفاع در اجزای کشت مخلوط موجب این امر می‌گردد که سطح کانوپی از حالت مسطح به حالت موجی در آمـده و در نتیجـه افـزایش سـطح جـذب نـور را بـه دنبـال دارد (Mirhashemi, 2006). کشت‌های مخلوط به واسطه افزایش جذب نور، از طریق افزایش طول دوره جذب (برتری زمـانی) یـا در نتیجـه پوشش بیشتر سطح خاک (برتری مکانی) سـبب افـزایش بهـره‌وری سامانه‌های زراعی می‌شـوند (Awal *et al.*, 2006). از سـوی دیگـر کارآیی استفاده از تابش تحت شرایط مطلوب رشد ثابت اسـت، ولـی دماهای نامناسب (Torkaman-nia, 1997) و تنش‌هایی مانند تنش خشکی (Willey, 1979) می‌تواند سبب کاهش آن شود. بیشتر بودن کارآیی مصرف نور سیاهدانه در نتیجه تیمارهای کشت مخلوط در این پژوهش، شاید به‌دلیل اثر گیاهان دیگر بر روی سیاهدانه در تخفیـف

تنش وارده به گیاه (Mirhashemi, 2006) و در نقطه مقابل، بروز تنش بیشتر در تیمار کشت خالص سیاهدانه نیز باشد. توحیدی‌نژاد و همکاران (Tsubo *et al.*, 2005) نشان دادند که ترکیب آفتابگردان و ذرت به‌عنوان مخلوط یک گیاه پهن‌برگ و باریک برگ باعث استفاده بیشتر از نور می‌گردد. علاوه بر این،چنین مخلوطی با سیستم ریشه‌ای متفاوت باعث جذب آب و مواد غذایی می‌شود. آن‌ها بیان کردند که کارایی بیشتر نور در مخلوط آفتابگردان و ذرت شاید به دلیل چرخه فتوسنتزی متفاوت آفتابگردان (به‌عنوان گیاه $C_3$) و ذرت (به‌عنوان گیاه $C_4$) باشد. بیشترین ضریب خاموشی نور و درصد نور دریافتی در بررسی وضعیت نور در کشت خالص و مخلوط جو و ماشک گل خوشه‌ای (*Vica villosa*) مربوط به تیمار مخلوط افزایشی و کمترین آن مربوط به کشت خالص بود (Ahmadi *et al.*, 2011). آن‌ها نیز بیان داشتند که نتایج این تحقیق همچنین بر افزایش کارایی مصرف نور در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در هر دو گیاه دلالت داشت.

### کارایی مصرف نور گیاه همیشه‌بهار

میزان کارایی نور به‌دست آمده برای کشت خالص همیشه‌بهار برابر با ۰/۹۹ بود (شکل ۸-A) که همچون سیاهدانه، کمترین مقدار کارایی مصرف نور در بین تیمارهای مربوط به این گیاه بود. کارایی مصرف نور در سری‌های جایگزینی کنجد و نخود در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا کرد (Hossein Panahi *et al.*, 2010).




**شکل ۸- میزان ماده خشک تجمعی همیشه‌بهار به‌عنوان تابعی از تابش تجمعی در تیمار کشت خالص همیشه‌بهار (A)،کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار (B)، کشت مخلوط همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی (C) و کشت مخلوط سه‌گانه سیاهدانه-همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی (D) (شیب خط رگرسیون نشان‌دهنده کارایی مصرف نور است.)**

**Figure 8- Total dry matter of marigold as a function of cumulative radiation in monoculture of black cumin (A) and intercropping of black cumin-marigold (B), marigold-borage (C) and triple intercropping of black cumin, borage and marigold (D) (the slope of the regression trend line indicates RUE)**

کارایی مصرف نور همیشه‌بهار در هر دو تیمار کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار (۱/۰۴ گرم بر مگاژول) و همیشه‌بهار- گاوزبان اروپایی (۱/۰۵ گرم بر مگاژول) نیز در حد میانه‌ی مقادیر کارایی مصرف نور تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط سه‌گانه بود که نسبت به تیمار کشت خالص همیشه بهار به‌ترتیب حدود ۰/۰۵ و ۰/۰۶ گرم بر مگاژول افزایش یافتند (شکل‌های B-۸ و C-۸). کشت مخلوط یکی از مدیریت‌های زراعی است که می‌تواند موجب تغییر کارایی مصرف نور در گیاهان شود. مطالعات مختلفی افزایش و یا کاهش کارایی مصرف نور اجزای گیاهی در مخلوط را گزارش کرده‌اند و برخی مطالعات نیز تأثیر کشت مخلوط بر کارایی مصرف نور را ناچیز دانسته‌اند، اما در هر صورت آنچه که بسیار اهمیت دارد بهبود بهره‌وری تولید در سامانه‌های کشت مخلوط، در ارتباط با نور می‌باشد (Ahmadi *et al.,* 2011; Brooker *et al.,* 2015; Kiniry *et al.,* 1999).

کشت مخلوط به‌تنهایی دارای مزیت‌های اکولوژیکی فراوانی است. از دلائل افزایش کارایی مصرف نور در تیمارهای کشت مخلوط می‌توان به کاهش رقابت درون گونه‌ای گونه‌ها و همچنین اثرات مثبت دیگر گونه‌های کشت مخلوط بر آنان اشاره کرد.

بالاترین مقدار کارایی مصرف نور همیشه‌بهار نیز با مقدار ۱/۰۸ گرم بر مگاژول در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه حاصل شد که نسبت به تیمار کشت خالص همیشه‌بهار حدود ۰/۰۹ گرم با مگاژول افزایش نشان می‌داد (شکل D-۸). کشت مخلوط یک روش مناسب برای افزایش استفاده بهینه از نور خورشید است. به‌علاوه بسیاری از مطالعات مبنی بر افزایش استفاده از انرژی خورشیدی، در کانوپی کشت مخلوط انجام گرفته است (Alizadeh *et al.,* 2010; Black, 2000; Vafabakhsh *et al.,* 2009). به‌طور معمول جذب نور در شرایط کشت چند گیاه به‌جای یک گیاه افزایش می‌یابد چون هم زمان بیشتری و هم از نظر مکانی فضای بیشتری می‌تواند تحت پوشش گیاه زراعی قرار گیرد. کارآیی مصرف نور علاوه بر عوامل ذکر شده، بسته به مدیریت اعمال شده، کنترل یا عدم کنترل علف‌های هرز، آبیاری و تنش خشکی و غیره می‌تواند در زمان‌ها و یا مکان‌های مختلف، کمی متفاوت باشد (Razavi, 2014). به‌طور کلی، اختلاف‌ها در کارایی مصرف نور در گیاهان دارویی می‌تواند ناشی از تفاوت در تخصیص مواد بین ریشه و اندام هوایی و یا تفاوت در جذب تابش باشد (Ameri and Nassiri Mahallati, 2008). در آزمایش‌های دیگری که گیاهان داری مسیر فتوسنتزی سه‌کربنه مثل بادام‌زمینی و لوبیا با ذرت مخلوط شدند کارایی مصرف نور گیاهان در مخلوط، نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا کرد (Awal *et al.,* 2006).

کارایی مصرف نور کنجد و نخود در تمام تیمارهای مخلوط نسبت به تک‌کشتی در ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط سری‌های جایگزینی نخود و کنجد افزایش پیدا کرد (Hossein Panahi *et al.,* 2010). در نظام‌های زراعی تک‌کشتی وجود فضاهای خالی سبب تلفات مقادیر زیادی از نور شده و لذا میزان بهره‌وری بوم نظام زراعی کاهش پیدا می‌کند. یکی از راه‌کارهای زراعی برای غلبه بر این مشکل، کشت گیاهان با تیپ رشدی و ارتفاع متفاوت به‌صورت مخلوط می‌باشد. در این شرایط گونه مرتفع ضمن استفاده بهینه از نور بالای کانوپی، اجازه عبور بخشی از نور به پایین کانوپی را می‌دهد که با کارایی بالاتر توسط گونه زیرین مورد استفاده قرار می‌گیرند چراکه کارایی استفاده از نور در سطوح پایین تابش بالاتر می‌باشد (Ameri *et al.,* 2008).

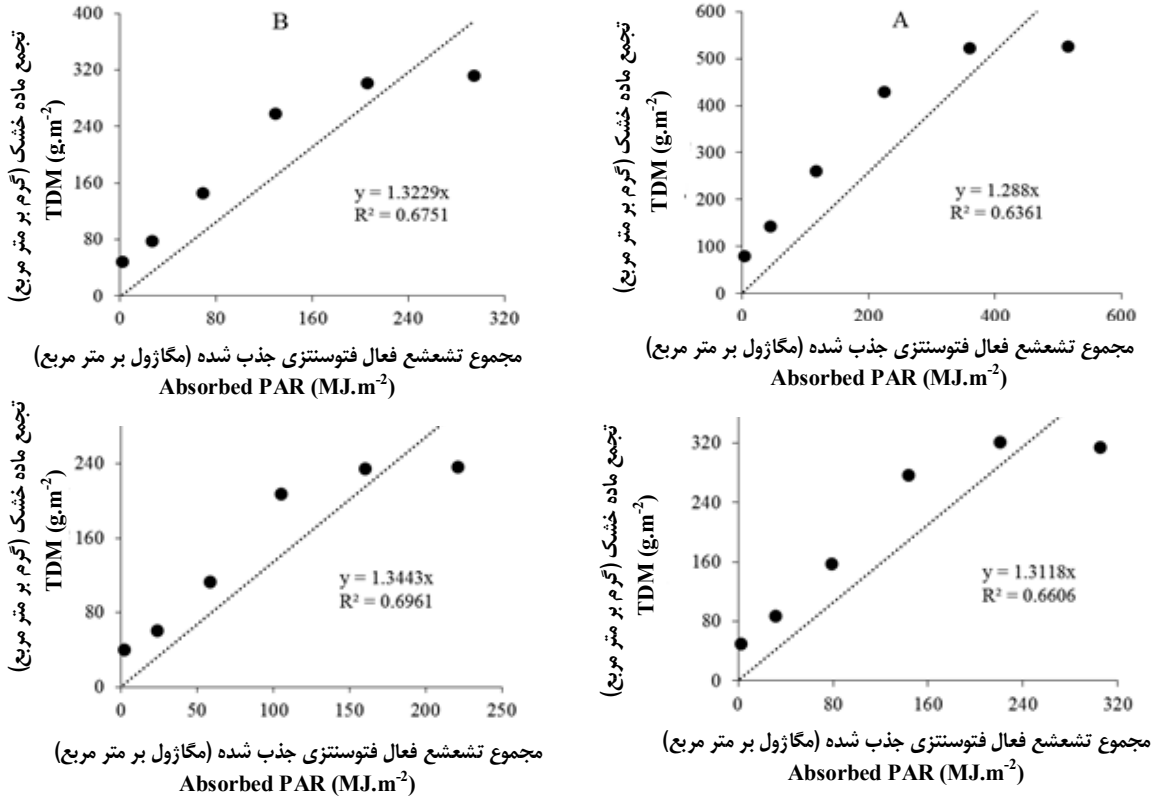
## کارایی مصرف نور گاوزبان اروپایی

کارایی مصرف نور گاوزبان اروپایی در تیمار کشت خالص این گیاه برابر با ۱/۲۸ گرم بر مگاژول بود (شکل A-۹) که در این مورد نیز عدد کمتر را نسبت به کارایی مصرف نور در کشت‌های مخلوط دارا بود.

مقدار کارایی مصرف نور گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط سیاهدانه- همیشه‌بهار و همیشه‌بهار- گاوزبان اروپایی با افزایشی ۲/۷ و ۱/۸۴ درصدی نسبت به تیمار کشت خالص، به‌ترتیب به ۱/۳۲ و ۱/۳۱ گرم بر مگاژول رسید (شکل‌های B-۹ و C-۹). در آزمایش حاضر گیاهان مورد بررسی دارای اختلافات عمده‌ای از نظر فنولوژیک، طول دوره رشد و ساختار مورفولوژیک بودند. از آن‌جا که بهره‌وری در مخلوط زمانی به حداکثر می‌رسد که گونه‌های مخلوط از نظر فنولوژیک و مورفولوژیکی اختلاف زیادی در جذب و رقابت برای نور و آب داشته باشند (Tsubo and Walker, 2002)، بنابراین بهره‌وری در ارتباط با نور در کشت‌های مخلوط می‌تواند از طریق افزایش جذب تابش خورشیدی، افزایش کارایی مصرف نور یا ترکیبی از هر دو بهبود یابد (Hossein Panahi *et al.,* 2010). در بررسی کارایی جذب و مصرف نور در کشت مخلوط گاوزبان اروپایی با لوبیا مشاهده شد که مقدار کارایی مصرف نور گاوزبان اروپایی از ۰/۶۳ تا ۱/۳۴ گرم بر مگاژول در آرایش‌های مختلف کشت مخلوط متغیر بود (Manna and Singh, 2001).

بالاترین مقدار کارایی مصرف نور مربوط به گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه، با مقدار ۱/۳۴ گرم بر مگاژول ثبت شد که نسبت به تیمار کشت خالص این گیاه افزایش ۴/۳۷ درصدی را نشان داد (شکل D-۹). به‌طور کلی، نمی‌توان قاطعانه عنوان نمود که در کشت مخلوط، کارایی مصرف نور همیشه بالاتر از کشت خالص می‌باشد بلکه این موضوع به اجزای کشت مخلوط وابسته است و اینکه چه گیاهانی و در چه شرایطی در کنار هم قرار گرفته‌اند و در این زمینه کسری از تابش فعال فتوسنتزی که توسط کانوپی گیاهان

مختلف در کشت مخلوط جذب می‌گردد اهمیت قابل توجهی دارد که این عامل نیز به نوبه خود بیشترین وابستگی را به شاخص سطح برگ و ساختار کانوپی دارد (Alizadeh *et al.*, 2010). با توجه به اینکه در آزمایش حاضر کارایی مصرف نور گیاه گاوزبان اروپایی و نیز گیاهان سیاهدانه و همیشه‌بهار در کشت‌های مخلوط افزایش پیدا کرد. به‌نظر می‌رسد که بهبود شاخص سطح برگ و ساختار کانوپی در تیمارهای کشت مخلوط (بر اثر عواملی همچون بهبود استفاده از منابع توسط گونه‌های موجود در کشت مخلوط و تغییر ساختار فضایی قرار گرفتن برگ‌ها در کانوپی) موجب افزایش کارایی مصرف نور در تیمارهای کشت مخلوط شده باشد. در این بین، تیمار کشت مخلوط سه‌گانه با تشکیل بیشترین مجموع شاخص سطح برگ و مناسب‌ترین ساختار کانوپی بالاترین کارایی مصرف نور را در گیاهان کاشته شده در این تیمار بوجود آورده است.




**شکل ۹- میزان ماده خشک تجمعی گاوزبان اروپایی به‌عنوان تابعی از تابش تجمعی در تیمار کشت خالص گاوزبان اروپایی (A)،کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی (B)، کشت مخلوط همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی (C) و کشت مخلوط سه‌گانه سیاهدانه-همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی (D) (شیب خط رگرسیون نشان‌دهنده کارایی مصرف نور است.)**

**Figure 9- Total dry matter of borage as a function of cumulative radiation in treatments of black cumin (A) and intercropping of black cumin-borage (B), marigold-borage (C) and triple intercropping of black cumin, borage and marigold (D) (the slope of the regression trend line indicates RUE)**

جهت محاسبه کارایی مصرف نور، طبق اصول، شیب خط رگرسیونی برازش یافته به داده‌های ماده خشک تجمع یافته و مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده به‌عنوان کارایی مصرف نور درنظرگرفته شد اما با توجه به تمامی شکل‌های موبوط به کارایی مصرف نور گیاهان مورد بررسی در تیمارهای مختلف آزمایش (شکل‌های ۷ تا ۹) چنین به‌نظر می‌رسد که می‌توان دو مرحله مجزا برای نوع تابعیت ماده خشک تجمع یافته به ازای مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده توسط گیاهان قائل شد، به‌گونه‌ای که تا مرحله‌ای خاص از رشد گیاهان، کارایی مصرف نور بیشتر از مرحله بعدی آن است بنابراین می‌توان دو کارایی مصرف نور با مقادیری متفاوت برای آن‌ها تعریف کرد. به‌نظر می‌رسد که برای سیاهدانه که گیاهی رشد محدود است کاهش شیب خط رگرسیونی قابل برازش بر

داده‌ها و بنابراین کاهش کارایی مصرف نور این گیاه پس از مرحله گلدهی این گیاه و برای گیاهان همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی پس از رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ اتفاق افتاده است. به‌نظر می‌رسد کاهش رشد گیاهان در فاز دوم رشد آن‌ها (پس از گلدهی سیاهدانه و پس از دستیابی به حداکثر شاخص سطح برگ همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی) موجب عدم استفاده کارای گیاهان از منبع نوری در دسترس آن‌ها در جهت تولید ماده خشک بیشتر شده باشد. بالاترین کارایی مصرف نور زمانی حاصل می‌گردد که گیاه در سریع‌ترین مرحله رشد خود قرار دارد (Gao *et al.,* 2008). در برخی از گیاهان ترکیب بیوشیمیایی بافت دانه متفاوت از بافت گیاه است و در طول دوره پر شدن دانه که فتوسنتز گیاه صرف ساخت ترکیبات غنی از انرژی مثل روغن می‌شود، ممکن است کارآیی استفاده از تابش کاهش یابد (Tesfaye *et al.,* 2006). همچنین، بیان شده است که در برخی از گیاهان، انتقال مجدد نیتروژن باعث کاهش غلظت نیتروژن در برگ‌ها می‌شود که در نتیجه‌ی آن کارآیی استفاده از تابش کاهش خواهد یافت. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که کارایی مصرف نور ممکن است تحت تأثیر عوامل دیگری همچون مرحله پر شدن دانه، ژنوتیپ گیاهی، شرایط اقلیمی و محیطی، مدیریت زراعی، سن اندام‌های گیاهی مانند ریشه و برگ که تمام آن‌ها بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه اثرگذار هستند قرار گیرد (Razavi, 2014; Torkaman-nia, 1997).

## نتیجه‌گیری

نور یکی از مهم‌ترین منابع در رشد و نمو گیاهان است. نتایج حاصل از این پژوهش به‌خوبی اثر کشت مخلوط بر بهبود کارایی مصرف نور سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی را نشان داد. بنابرین به نظر می‌رسد درصورتی‌که برای تولید این گیاهان کشت مخلوط به همراه تراکم بهینه آن‌ها در این کشت مد نظر قرار بگیرد، می‌تواند از لحاظ اکولوژیکی و اقتصادی سودمند واقع شود.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به خاطر تأمین بودجه این تحقیق از محل اعتبارات این معاونت (شماره ۳۱۶۸۷) و همچنین مسئولین و کارکنان محترم مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

## References

1. Ahmadi, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Zahtab Salmasi, S., Amini, R.A., Jan Mohammadi, H., and Nami, F. 2011. Study of light condition in monoculture and intercropping of barley and vetch and its relation to forage yield. Sustainable Agriculture and Production Science 20 (2): 53-65. (in Persian with English abstract).
2. Alimadadi, A., Jahansooz, M.R.M., Tavakkol Afshari, R., and Rostamza, M. 2006. Evaluation of radiation use effeciency, light extinction coefficient and light delivery in different cultivars of blackeyed pea, mung bean and bean in secound cultivation. Agronomy Journal 71: 67-75. (in Persian with English abstract).
3. Alizadeh, Y., Koocheki, A., and 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 with English abstract).
4. Ameri, A.A., Rabbani Nasab, H., Jalilvand, M.R., and Imani, M. 2012. The survey on phenological stages, the effect of nitrogen fertilizer levels and plant density and stage of flower harvest on flower production, active ingredients of marigold (*Calendula officinalis*). Journal of North Khorasan University of Medical Sciences 4: 57-66. (in Persian with English abstract).
5. Ameri, A., and Nassiri Mahallati, M. 2008. The effects of different nitrogen levels and plant density in medicinal plant of marigold (*Calendula officinalis* L.). Journal of Agronomy 81: 133-144. (in Persian).
6. Awal, M.A., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 139: 74-83.
7. Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy 24: 325-332.
8. Black, C.R., and Ong, C.K. 2000. Utilisation of light and water in tropical agriculture. Agricultural and Forest Meteorology 104: 25-47.
9. Brooker, R.W., Bennet, A.E., Cong, W.F., Danniell, T.J., George, T.S., Hallett, P.D., Hawes, C., Iannetta, P.P.M., Jones, H.G., Karley, A.J., Li, L., McKenzie, B.M., Pakeman, R.J., Paterson, E., Schob, C., Shen, J., Squire, G., Watson, C.A., Zhang, C., Zhang, F., Zhang, J., and White, P. 2015. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. New Phytologist 206: 107-117.
10. Francescangeli, N., Sangiacomo, M.A., and Marti, H. 2006. Effects of plant density in broccoli on yield and radiation use efficiency. Scientia Horticulturae 110: 135-143.

11. Gallagher, J.N., and Biscoe, P.V. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. The Journal of Agricultural Science 91: 47-60.
12. Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Z., Liu, H., and Liu, Z. 2008. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. Field Crops Research 111: 65-73.
13. Ghobadi, M., Jahanbin, S., Motalebi fard, R., and Parvizi, K. 2011. The effect of biological phosphate fertilizers to yield and yield components of potato. Sustainable Agriculture and Production Science 21 (2): 117-130. (in Persian with English abstract).
14. Hossein Panahi, F., Poor Amir, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2011. Evaluation of absorbtion and radiation use efficiency in replacement series of intercropping of cowpea and sesame. Journal of Agroecology 3 (1): 106-120. (in Persian with English abstract).
15. Hossein Panahi, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Evaluation of the absorbtion and radiation use efficiency in intercropping of corn (*Zea mays* L.) and potato (*Solanum tuberosum* L.). Journal of Agroecology 2: 45-54. (in Persian with English abstract).
16. Jahan, M., Amiri, M.B., and Ehyaei, H.R. 2012. Absorbtion and radiation use efficiency of sesame affected by biological fertilizers in a low-input agroecosystem. Iranian Journal of Field Crops Research 2 (10): 435-447. (in Persian with English abstract).
17. Keating, B.A., and Carberry, P.S. 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. Field Crops Researches 34: 273-301.
18. Khamooshi, A. 2014. Comparison of the different ratio of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and fennel (*Foenicolum vulgare* Mill.) in additive and replacement series of intercropping. MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
19. Kiniry, J.R., Tischler, C.R., and Van Esbroeck, G.A. 1999. Radiation use efficiency and leaf $CO_2$ exchange for divers C4 grasses. Biomass and Bioenergy 17: 95-112.
20. Koocheki, A., Khorramdel, S., Amin Ghafoori, A., and Shabahang, J. 2013. Evaluation of absorbtion and radiation use efficiency in intercropping of medicinal plant of borage (*Borago officinalis* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agroecology 2 (3): 60-70. (in Persian with English abstract).
21. Lithourgidis, A.S., Dordas, C.A., Damalas, C.A., and Vlachostergios, D.N. 2011. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. Crop Science 5(4): 396-410.
22. Manna, M. C., and Singh, M.V. 2001. Long- term effects of intercropping and bio-litter recycling on soil biological activity and fertility status of subtropical soils. Bioresource Technology 76: 143-150.
23. Mansoori, H., Mansoori, L., Jamshidi, K., Rastgoo, M., and Moradi, R. 2013. Absorbtion and radiation use effeciency in addative intercropping of corn-bean in zanjan. Journal of Crop Production and Processing 9: 15-26. (in Persian with English abstract).
24. Mariotti, E.L., and Masoni, A. 1997. Light interception in an oat/vetch intercropping. Field Crop Abstract. Rivista Diagronomia 31(3): 658-665.
25. Mirhashemi, M. 2006. Study of the intercropping of bishop and fenugreek with emphasis on organic agriculture principles. MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
26. Mostafavi, M.J. 2014. The effect of chemical and biological fertilizers on quantitative and quality yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Mashhad climate condition. MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
27. Nassiri Mahallati, M. 2000. Modeling of Crop Growth Processes. Jihad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. (in Persian).
28. Parsa, S., Koocheki, A., Nassiri Mahalaati, M., and Ghaemi, A. 2007. Seasonal changes of receive and radiation use efficiency in sugar beet. Iranian Journal of Field Crops Research 5(2): 229-238. (in Persian with English abstract).
29. Ranjbar, F. 2012. Study of growth and yield indexes in different intercropping combinations of three plants of fennel (*Foeniculum vulgare*), sesame (*Sesamum indicum*) and bean (*Phaseolus vulgaris*). MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
30. Razavi, S.A. 2014. Radiation absorption and use efficiency of Common Mallow (*Malva sylvestris* L.) affected by different sources of organic, biological and chemical fertilizers and intercropping with Fenugreek. MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
31. Scott, R.K., and Jaggard, K.W. 2000. Impact of weather, agronomy and breeding on yields of sugar beet grown in UK since 1970. The Journal of Agricultural Science 134: 341-352.
32. Sinclair T.R., and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. Advances in agronomy 65: 215-265.
33. Soltani, A. 2009. Mathematical modeling in crops. Jihad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad Iran. (in Persian).

34. Soltani, A., and Hoogenboom, G. 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. Field Crops Research 103: 198-207.
35. Tesfaye, K., Walker, S., and Tsubo, M. 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. European Journal of Agronomy 25: 60-70.
36. Torkaman-nia, A. 1997. Effect of swing date on the yield of black cumin in Torbat climate conditions. MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University (Branch Torbat), Iran. (in Persian).
37. Towhidi Nejad, A., Mazaheri, D., and Koocheki, A. 2004. Study of the intercropping of corn and sunflower. Journal of Agronomy 39: 45-64. (in Persian with English abstract).
38. Trenbath, B. R. 1974. Biomass productivity of mixtures. Advances in Agronomy 26: 177-210.
39. Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H.O. 2005. A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions. Journal of Field Crops Research 93 (1): 10-22.
40. Tsubo, M., and Walker, S. 2002. A model of radiation interception and use by a maize/bean intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 110: 203-215.
41. Vafabakhsh, J., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2009. The effect of drought stress on yield and radiation use efficiency in cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 6 (1): 193-206. (in Persian with English abstract).
42. Willey, R.W. 1990. Resource use in intercropping systems. Agricultural Water Management 17: 215-23.
43. Willey, R.W. 1979. Intercropping – its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. Field Crops Abstracts 32: 1-10.
44. Zarifpoor, N. 2011. Evaluation of the indexes of intercropping of cumin and cowpea with emphasis on additive and replacement method. MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
45. Zhang, L., Vanderwerf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., and Spiertz, J.H. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research 107: 29-42.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 2, Summer. 2017, p. 323-340

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۳۴۰-۳۲۳

# Study of the Light Absorption and Utilization in Monoculture and Intercropping of Three Medicinal Plants of Black Cumin (*Nigella sativa* L.), Marigold (*Calendula officinalis* L.) and Borage (*Borago officinalis* L.)

**P. Naghipoor Dehkordi[1]- A. Koocheki[2*]- M. Nassiri Mahallati[2]- S. Khorramdel[3]**

Received: 14-09-2015
Accepted: 20-04-2016

**Introduction:** One of the components of sustainable agriculture is multiple cropping (such as intercropping). Intercropping means the use of a farm to produce two or more crops through a year. Diversity in agricultural systems is a reason for sustainability and widespread and better production, and better use of natural resources and environment, such as water, light and nutrients has priority to monoculture. Intercropping is one of agronomical strategies to increasing the absorption and efficiency of radiation absorption and use.

In proper agronomical conditions that there is no limitation for crop growth, there is a linear relationship between dry matter and absorbed radiation and the slope of regression trend line between these two indices during growing season is radiation use efficiency (RUE).

Radiation use efficiency (RUE) relates biomass production to the photosynthetically active radiation (PAR) intercepted by a plant or crop. Radiation use efficiency is dependent on light, temperature, vapor pressure deficit and factors inherent to plant species. Linear relationship between biomass and accumulated intercepted radiation has been demonstrated for several herbaceous plants (e.g., beans, soybean and lettuce) and for a few tree species (e.g., willow, mesquite and juniper). The production of dry matter in conditions without any environmental stresses is a function of light absorption and efficiency of plant to production of dry matter from absorbed radiation.

**Materials and Methods:** In order to study RUE in intercropping pattern of three medicinal plants including marigold (*Calendula officinalis*), borage (*Borago officinalis*) and black cumin (*Nigella sativa*) in two and three species compared with their monoculture, an experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad in the growing season of 2013-2014. Treatments included 1:1 ratio of black cumin-marigold, black cumin-borage and marigold-borage and 1:1:1 ratio of black cumin-marigold-borage and monoculture of each of three species. LAI of plants during the growth season, K and RUE of every plant in related treatments were determined and calculated. To fit functions and drawing the figures Slide Write program and MS Excel was used.

**Results and Discussions:** The results showed that RUE was enhanced in intercropping of all three medicinal plants. Dry matter production by three medicinal plant species was linearly related to the amount of PAR intercepted. Since Intercropping is useful when mixed species have phonological and morphological differences for intercepting of light and up taking of elements and water, so improvement in yield of intercropping can be due to increasing in light interception, increasing of RUE or both of them. The value of RUE changed over time, partially as a consequence of changes in canopy photosynthetic rates. The highest RUE was observed in triple intercropping among the experiment treatments. RUE of triple intercropping for black cumin, marigold and borage were 1.34, 1.08 and 1.34 g $MJ^{-1}$, respectively and also lowest RUE was recorded in theirs monoculture and RUE values of treatments of double intercropping were between the other treatments. There are vacancies in monoculture leads to a large amount of light loss and thus reduced productivity of agricultural ecosystems.

It seems that RUE in all three studied plants from the beginning of the flowering stage to flowering stage was higher than that RUE after this stage. This result may be due to effects of reducing in photosynthesis and plant growth due to factors such as remobilization of the elements from leaves and partitioning of more photosynthetic substances to reproductive parts of plant like flowers or seeds. However, the response of canopy photosynthesis to radiation is complex and depends on incident radiation flux density and individual leaf photosynthetic response. Radiation use efficiency may be affected by change these variables as PAR increases.

1, 2 and 3- PhD student in Agroecology, Professor, and Associate Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively.
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

**Conclusions:** Light is one of the most important sources of growth and development of plants. The results of this study clearly showed the effect of intercropping on improving the light use efficiency of black cumin, marigold and borage. RUE changed partially as a consequence of changes in canopy photosynthetic rates. According to the results, intercropping of three medicinal plants of black cumin, marigold and borage can be beneficial in term of ecological management.

**Keywords:** PAR, Radiation absorption, Replacement intercropping series, Resource use efficiency